UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MEZCLADORA - AMASADORA PARA PREPARAR 12 KG/H DE PASTA ALIMENTICIA

AUTORES:
CARLOS ALEJANDRO RENJIFO MERA
MARCO PAÚL BENALCÁZAR DÍAZ

TUTOR:
WILLIAM GUSTAVO DÍAZ DÁVILA

Quito, julio 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **Carlos Alejandro Renjifo Mera** y **Marco Paúl Benalcázar Díaz**, con documento de identificación **N° 171763509-6** y **N° 171320677-7** respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo titulación: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MEZCLADORA-AMASADORA PARA PREPARAR 12 KG/H DE PASTA ALIMENTICIA"**,** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Carlos Alejandro Renjifo Mera
C.I. 171763509-6

Marco Paúl Benalcázar Díaz
C.I. 171320677-7

Quito, julio del 2018

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MEZCLADORA-AMASADORA PARA PREPARAR 12 KG/H DE PASTA ALIMENTICIA", realizado por Carlos Alejandro Renjifo Mera y Marco Paúl Benalcázar Díaz, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2018

William Gustavo Díaz Dávila
C.I. 040092618-4

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien me ha dado la fortaleza, salud y sabiduría necesaria para afrontar con éxito cada momento de mi vida.

A mis padres Byron y Amparito, a quienes les dedico este trabajo de titulación ya que de manera muy especial me han incentivado a creer en mí mismo, brindándome su apoyo incondicional y que gracias a sus consejos me han permitido seguir adelante.

A mi novia Ylenia, quien a pesar de los momentos difíciles me ha apoyado e incentivado cuando más lo necesitaba.

Carlos Alejandro Renjifo Mera

A mis padres Marco y Rosario, quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional durante toda su vida, he aquí el fruto de sus esfuerzos. Gracias, porque todos los sacrificios que hicieron por mí se ven reflejados aquí al cumplir una meta más.

A mi esposa Araceli y mi hijo Daniel, por todo el tiempo que pudimos haber disfrutado juntos y que tuvimos que sacrificarlo por llegar a cumplir nuestras metas. Ahora nos esperan nuevas cosas por vivir.

A mis hermanos Karina y Christian, por todo lo compartido y su ayuda siempre que lo he necesitado.

Marco Paúl Benalcázar Díaz

Índice

Índice de Figuras

Índice de Tablas

Índice de Anexos

Glosario

- **Amasar**: Es la acción de mezclar y homogeneizar una serie de ingredientes y transformarlos en una sola masa con características perfectamente definidas [1].

- **Gluten:** Grupo de proteínas de pequeño tamaño, que solamente se encuentran en la harina de los cereales de secano (aquellos que crecen con el agua lluvia, sin la ayuda del riego artificial), como por ejemplo: trigo, cebada, centeno y avena [2].

- **Higroscopicidad:** Propiedad que tienen algunos compuestos en absorber la humedad en base a las condiciones del medio en la que se encuentran [3].

- **Melaza:** Sustancia viscosa rica en impurezas, derivada del procesamiento de la remolacha o caña de azúcar, presenta un color pardo oscuro y sabor muy dulce [3].

- **Paletas:** Dispositivos anexados al eje o a la coraza que permiten el desplazamiento de la masa para que se vaya homogenizando; tienen diversas formas y longitudes dependiendo del proceso a realizar [4].

- **Segregación:** Es la acción de separar algo de otra cosa [3].

- **Sémola:** Es un tipo de harina procedente de la molienda del trigo duro, óptimo para realizar las masas para las pastas alimenticias [5].

Resumen

La elaboración manual de la pasta presenta inconvenientes en factores como homogeneidad, esfuerzo y tiempo de preparación.

En la actualidad, existen máquinas capaces de realizar este trabajo en un tiempo relativamente corto, la problemática está en que estas máquinas no se encuentran comercialmente en Ecuador; por lo que para poderlas obtener se debería importar del exterior. Esto haría incrementar aproximadamente entre un 30% al 50% más de su valor comercial, debido a costos de importación y aranceles.

El presente trabajo se enfoca en dar una solución de diseño para la elaboración de una máquina capaz de realizar 12 Kg/h de pasta alimenticia, considerando los procesos de mezclado-amasado y extruido.

Los ejes de mezclado y extrusión estarán sometidos a cargas radiales y axiales, determinando así los valores de los factores de seguridad necesarios para que los diámetros de los ejes no fallen bajo cargas estáticas ni a fatiga. Los valores del factor de seguridad a fatiga, calculados analíticamente, serán de 2.04 para el eje de mezclado y 2.5 para el eje de extrusión.

La simulación realizada en SolidWorks de los ejes de mezclado y extrusión proporcionan un factor de seguridad estático de diseño de 2.21 y 3.18 respectivamente, lo cual garantiza, que se ha realizado correctamente el diseño de los mismos.

El análisis financiero muestra que el costo más representativo en la construcción de la máquina corresponde a los dos motores, los cuales representan aproximadamente el 41% del costo total; Además se mostrará que el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial será de dos meses, puesto que con esta máquina se puede duplicar la producción de pasta dentro de un local comercial.

Palabras Clave: mezcladora, extrusión, diseño a fatiga, simulación estática, pasta

Abstract

The handmade processing of pasta presents disadvantages in factors such as homogeneity, effort and time of preparation.

At present, there are machines capable of performing this work in a relatively short time, the problem is that these machines are not commercially available in Ecuador; so that in order to obtain them, it should be imported from abroad. This would increase approximately 30% to 50% more of its commercial value, due to import costs and tariffs.

The present work is focused in giving a design solution for the elaboration of a machine capable of carrying out 12 Kg/h of alimentary dough considering the processes of mixing-kneading and extruded.

The mixing and extrusion shafts, will be subjected to radial and axial loads, for which the safety factor is determined that ensures that the diameters of the shafts do not fail under static loads or fatigue. The values of the fatigue safety factor, calculated analytically, will be 2.04 for the mixing shaft and 2.5 for the extrusion shaft.

The simulation carried out in SolidWorks, of the mixing and extruded shafts, provides a static design safety factor of 2.21 and 3.18 respectively. This guarantees that the design has been correctly carried out.

The financial analysis shows that the most representative cost in the construction of the machine corresponds to the two engines, which represent approximately 41% of the total cost; Furthermore, will be shown that the initial investment will be recovered in a time of two months, since with this machine you can double the production of pasta inside a commercial establishment.

Keywords: mixer, extrusion, fatigue design, static simulation, pasta

Introducción

El principal componente para la producción de pastas alimenticias es la harina, especialmente la semolina de trigo duro refinado, la cual posee buenas cualidades para la cocción y la resistencia a la masticación, además de tener un alto porcentaje de pigmentos orgánicos, llamados carotenoides, los cuales contribuyen a que las pastas tengan el color amarillento característico [6].

En la actualidad muchas empresas ecuatorianas, en la industria alimenticia como restaurantes y hoteles están requiriendo máquinas para la elaboración de pasta de fideos; puesto que la elaboración a mano de dichos productos es laboriosa y requiere una gran demanda de trabajo físico, lo que hace que se necesite de un personal calificado para este tipo de trabajo.

Una opción es la compra directa de pasta a comerciantes, pero en la mayoría de ocasiones esta no cumple con las especificaciones del personal de cocina y sobretodo del consumidor o a su vez estos productos son importados y tienen un costo muy elevado.

Por dicho motivo en el presente trabajo de titulación se va a desarrollar una metodología de diseño y simulación de una máquina para mezclar y amasar pasta alimenticia con capacidad de producción de 12 Kg/h.

Este tipo de máquina permitirá a los usuarios mezclar los diferentes ingredientes para la elaboración de la pasta y a su vez, ultimada la fase de mezclado y amasado, poder extruir en los diferentes tipos de pasta existentes, tales como espaguetis, fusilli, fettuccine, maccheroni, entre otros.

Con este modelo de máquina se podrá acelerar el proceso de elaboración de pasta y se tendrá además el control sobre la calidad del mismo, lo cual dependerá de los ingredientes utilizados.

Para la elaboración de la máquina mezcladora y amasadora, se dividió en cinco capítulos fundamentales, los cuales servirán como base ya sea para la explicación de lo que se ha realizado y como guía para poder desarrollar el proyecto de la mejor manera, estos se detallan como sigue:

En el capítulo 1, se especificará todos los conceptos, necesarios para el desarrollo del proyecto de titulación. Durante la fase de investigación se va a recolectar los datos necesarios como los requerimientos específicos que debe cumplir el equipo a diseñar.

En el capítulo 2, Se describen las fórmulas necesarias para el diseño de la máquina, además se analizarán las selecciones de las diferentes alternativas planteadas, determinando la mejor opción.

En el capítulo 3, A partir de las fórmulas del capítulo anterior, se diseñará y dimensionará todos los elementos de la máquina mezcladora-amasadora. Además se realizará la selección de los rodamientos, motor y del dado extrusor.

En el capítulo 4, se realizará el proceso de simulación estática con el programa de SolidWorks, para los ejes de mezclado y extrusión. Se determinará el esfuerzo de Von Misses, necesario para calcular el factor de seguridad estático de los ejes; de este modo se validará los resultados realizados en el anterior capítulo. Además se dará a conocer el funcionamiento de la máquina.

En el capítulo V, se determinará el costo de inversión que se requiere para la fabricación de la máquina; además se verificará el tiempo necesario para poder recuperar dicha inversión.

a) Descripción del problema

La pasta es producida a partir de sémola de trigo duro y es un alimento resultante de la mezcla adecuada de semolina y agua en porcentajes adecuados (20 a 30% de agua) y/o huevos para formar una masa granular. Se prefiere el trigo duro, ya que presenta excelentes propiedades nutritivas además su textura, dureza y otras propiedades lo convierten en el cereal idóneo para la preparación de pasta [7].

Los beneficios de este producto dependen de la calidad de las harinas empleadas, del agua, del proceso utilizado, del secado y de la conservación. Pastas de buena calidad deben tener color uniforme, semi-transparentes, duras, con fractura casi vítrea; además no deben presentar rastros de fermentación en el olor y sabor. También debe tener características de sequedad, con el almidón completamente hidratado y cristalizado [8].

b) Clasificación de la pasta

La pasta puede clasificarse en función del tipo de elaboración, la cual determina el uso que se le va a dar al momento de ser consumida. Las principales variedades se producen de forma industrial o artesanal. Estas se clasifican en: pasta seca y pasta fresca [9].

- **Pasta Seca**

Su elaboración inicia con la mezcla de la sémola de trigo duro y agua en cantidades que varían según el grado de humedad del cereal. Para la obtención de un producto de calidad todo el proceso debe ser monitorizado continuamente a fin de evitar variaciones en los porcentajes de humedad del producto final [9].

La ventaja de este tipo de producto es que puede conservarse hasta años enteros. La pasta seca se puede encontrar en tamaños, formas y colores tan variados. Los colores varían desde amarillo, verde, rojo y negro [9].

Se pueden a su vez clasificar en pasta larga y corta:
Pasta larga: Bavette, Bucatini, Capellini o cabello de angel, Linguini, Reginette, Espaguetis, Vermicelli, Zite

Pasta Corta: Conchiglie, Ditalini, Farfale, Fusilli, Gomiti, Macarrones, Mezze maniche, Penne, Pipe, Rigatoni, Ruote, Sedani, Tortiglioni [9].

- **Pasta Fresca**

También llamada pasta "fatta in casa", por ser elaborada de forma casera; es el resultado de la mezcla de la harina de trigo, huevo y/o a veces agua o incluso el vino blanco. Adicional a esto, en ciertas regiones de Italia, suelen colorear la pasta fresca con puré de espinaca para lograr el color verde, concentrado de tomate para obtener el color rojo, zumo de remolacha que otorga el color rosa suave o tinta de calamar que proporciona el color negro. [9].

Estas a su vez se clasifican en pasta cortada y rellena:
Pasta cortada: Maccheroni a la chitarra, Bigoli, Fetuccine, Maltagliati, Orecchiette, Pappardelle, Stacci, Tagliatelle, Taglierini, Trenette, Trofle.

Pasta Rellena: Agnolotti, Anolini, Canelones, Cappellacci, Cappelletti, Caramelle, Casônsèi, Fagottini, Lasaña, Pansotti, Ravioli, Tordelli, Tortelli, Tortellini [9].
La elaboración de una pasta de calidad empieza con la preparación de la masa, su manipulación, alargamiento y corte hasta ser moldeadas definitivamente y/o rellenadas.

c) Importancia

En el Ecuador hay pocas industrias que elaboran los diferentes tipos de pasta o fideos. Cabe resaltar que estos productos, elaborados a base del trigo, se encuentran entre los diez principales que se consumen en el país [10].

Según la investigadora de mercado Ipsa Group, las pastas o fideos producen un consumo anual que sobrepasa las 60 mil toneladas métricas anuales, representando un aproximado de $75 millones. Por lo que este producto cuenta con una gran aceptación en los hogares ecuatorianos [11].

Las pastas no solo son consumidas en los hogares, también son de los principales platos solicitados en los patios de comida, por ejemplo, el restaurante "II Cappo di Mangi" comercializa una extensa variedad de pastas acompañadas de salsas frías o calientes, a un costo medio de $5 [11].

d) Alcance

Con este trabajo de titulación se pretende optimizar el tiempo de producción, evitar la fatiga y el contacto físico de los trabajadores con el producto, mejorando la calidad de la pasta y cambiando en forma aséptica la elaboración de la misma. Sin olvidar los beneficios que generaría una futura implementación de la máquina en la industria ecuatoriana.

e) Delimitación

El proyecto se enfoca en los sectores nacionales debido a que, como ya mencionado con anterioridad, en nuestro país no existen maquinarias fabricadas en Ecuador capaces de realizar este tipo de trabajo. Muchas empresas tales como los restaurantes importan dichas maquinarias a un alto costo, o incluso elaboran a mano los mencionados productos.

f) Objetivos:

- **General**

  Diseñar y simular una mezcladora-amasadora para preparar 12 Kg/h de pasta alimenticia.

- **Específicos:**

  Diseñar los elementos mecánicos de una mezcladora-amasadora, a fin de garantizar su buen funcionamiento.

  Seleccionar los elementos mecánicos genéricos con los que la máquina va a trabajar.

  Validar la movilidad y funcionamiento de la máquina, mediante la simulación en el software de “SolidWorks”.

  Determinar los costos de fabricación e implementación de la máquina, así como el tiempo necesario para recuperar la inversión.

CAPÍTULO 1
MARCO TEÓRICO

1.1. Conocimientos generales acerca de la pasta alimenticia

De forma general, se denomina pasta alimenticia o fideo a los productos sin fermentar que resultan del empaste y amasado de harinas ricas en gluten (como las de trigo, sémolas o semolín) con agua y si se requiere se puede añadir sustancias colorantes [8].

La composición nutricional de la pasta alimenticia, puede variar según los ingredientes que se disponen. De forma básica dicha composición se puede resumir en la Tabla 1 para pastas que contienen 1 Kg de harina y 4 huevos [6].

Tabla 1. Valores porcentuales aproximados de una pasta que contiene huevo (4 huevos en 1 Kg de harina) [6].

	Agua (%)	**Proteína (%)**	**Lípidos (%)**	**H. de C. (%)**	**Fibra (%)**	**Minerales (%)**
Pastas al huevo	11.1	14.5	2.9	70.0	0.5	1.0

El fideo es considerado un alimento de consumo masivo, además de funcional dado su poco aporte de grasa y sodio y su escaso impacto sobre la azúcar en la sangre (respuesta glucémica) [8].

Una pasta de buena calidad es aquella que se elabora en su totalidad con sémola de trigo duro, el cual es distinto del trigo panadero o trigo blando o harinero [12]. Los granos del trigo duro, son alargados, traslúcidos, muy duros y de color amarillo ámbar.

Tiene un endospermo menos friable que el del trigo harinero, por lo que en su molienda produce sémola la cual es de una granulometría mayor a la de harina que se produce en la molienda de un grano de trigo panadero [12].

Un esquema de este trigo duro se ilustra en la Figura 1.

Figura 1. Estructura de grano del trigo y harina de trigo duro [12].

Los materiales usados para elaborar pastas alimenticias son [8]:

- Harina de trigo duro
- Agua
- Huevos
- Verduras en forma de puré (si se requiere)
- Suplementos de vitaminas y minerales (si se requiere)
- Suplementos proteínicos

La harina se mezcla con el agua en definidas proporciones, obteniendo así una masa consistente y logrando una determinada resistencia, a la cual se puede moldear hasta alcanzar con la forma deseada. El agua es muy importante para este proceso, ya que debe poseer características de salubridad y potabilidad caso contrario la calidad del producto final puede verse afectado. En algunos casos la ebullición del agua, durante unos minutos, es lo aconsejable, para precipitar las sales minerales contenidas, reduciendo además las cantidades de sales magnésicas y la destrucción de las bacterias orgánicas [8].

Otro componente fundamental es el huevo de gallina, ya que añade consistencia y color a la pasta haciéndola más nutritiva. Se debe mezclar como mínimo dos huevos frescos enteros, considerando que la pasta alimenticia debe tener un contenido de 350 mg por cada Kg de pasta, calculado sobre sustancia seca, en la pasta [8].

Las verduras se agregan, si se requiere, en forma de puré, deshidratados, congelados, en forma de conserva, jugos y extractos. Como ya mencionado en la introducción,

estos fundamentalmente aportan color y enriquecen la masa con vitaminas y minerales. Normalmente se utilizan espinaca, acelga, tomate, remolacha, zanahoria y pimentón entre otros [8].

El término de pastas enriquecidas se refiere a que estas les han añadido suplementos vitamínicos tales como preparados de hierro y vitaminas del complejo B [8].

Mientras que las pastas fortificadas son aquellas que se les ha añadido suplementos proteínicos tales como la leche en polvo, harina de soya o gluten de trigo [8].

Las etapas del proceso para la elaboración de pastas alimenticias son [8]:

- Pesado de materiales
- Mezclado
- Amasado
- Laminado (para fabricar fideos laminados)
- Trefilado (proceso para dar forma a la pasta)
- Secado
- Enfriamiento
- Empacado
- Almacenamiento

1.2. El mezclado y amasado

El mezclado es una de las fases más trascendentales en la elaboración de la pasta [4]. En esta etapa es donde se produce una mezcla homogénea de los ingredientes principales, facilitando el proceso de amasado, obteniendo así una mezcla granulada y homogénea donde la humectación de los ingredientes hará sí que el empasto sea maleable, característica fundamental para los procesos siguientes de trefilado y laminado [8].

Existen dos tipos de fluidos, los newtonianos y los no newtonianos, dentro de ellos están los viscoelásticos, que son de interés debido a que la masa para la elaboración de pasta alimenticia posee características viscoelásticas. Este tipo de fluidos se caracteriza por presentar al mismo tiempo propiedades viscosas y elásticas, así como la relajación de la tensión y la recuperación [13].

Una mezcladora tiene como propósito el desplazamiento de todas las partículas de los ingredientes, permitiendo combinarlas entre ellos; debido a lo cual las mezcladoras que ofrecen un máximo movimiento de partículas, como los mezcladores de cintas helicoidales, realizaran un mezclado más eficiente [4]. La velocidad angular para el mezclado puede variar desde los 32 hasta 230 RPM [14].

Cada ingrediente, tiene sus propias propiedades físicas tales como el tamaño de partícula, densidad, adhesividad, higroscopicidad, características superficiales entre otras; estas pueden alterar su disposición para ser mezcladas con otras sustancias. No obstante el factor que más afecta a una mezcla homogénea es el tamaño de partícula. En teoría no ocurriría segregación si cada uno de los ingredientes tuvieran el mismo tamaño de partícula, por lo que sería muy fácil mezclarlos [4].

Diversos estudios han determinado que el tiempo de mezclado y el tamaño de las partículas guarda una relación directa cuando se desea obtener un mezclado uniforme; sin embargo, en la práctica se requiere la mezcla de partículas con diferentes tamaños [4]. Es así que a continuación se presentan tres tipos diferentes de mezcladoras las cuales tienen distintos funcionamientos según la aplicación que corresponda.

Los tres tipos de mezcladoras son [4]:

a.- Verticales

b.- Horizontales

c.- Tambor

a.- **Mezcladoras Verticales**

Son muy populares por su bajo costo y su facilidad de adaptación a diferentes equipos de alimentación, además si se utiliza *un sistema de doble gusano* se puede reducir su tiempo de mezclado de 12 a 15 minutos en promedio a un tiempo de 8 a 10 minutos. [4].

En este tipo de equipos, un gran porcentaje del mezclado ocurre debido a la recirculación de los ingredientes en un tubo elevador y gusano, mientras que

aproximadamente el 10% de la mezcla es movida solo por el gusano, esto se traduce en un tiempo de mezclado mayor [4], ver Figura 2.

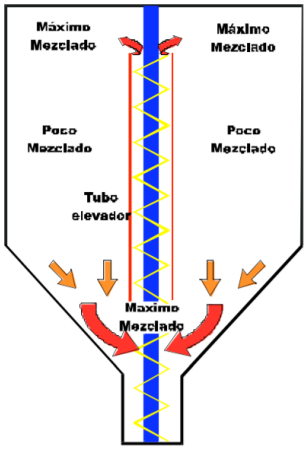


Figura 2. Patrón de mezclado en mezcladoras verticales [4].

b.- **Mezcladora Horizontal**

El tiempo requerido para producir una mezcla homogénea varía de 2 a 4 minutos, esto debido a que la totalidad de las partículas se encuentran en movimiento [4], como se puede observar en las Figuras 3 y 4.

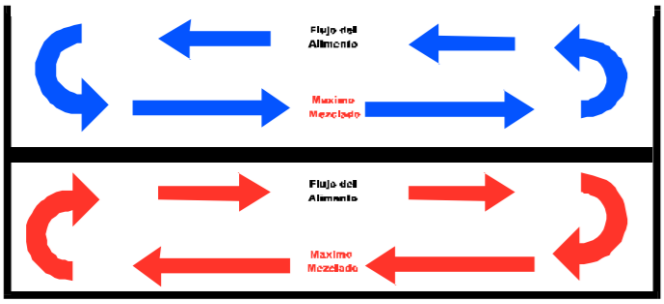


Figura 3. Patrón de mezclado en mezcladoras horizontales de listones [4].

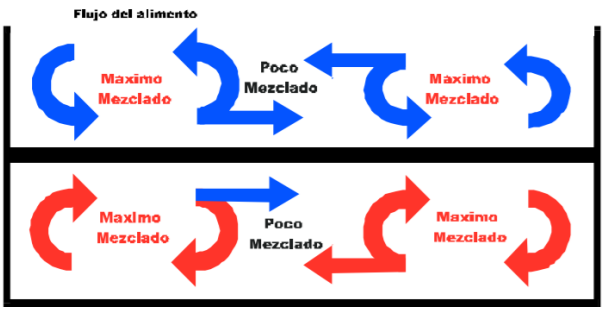


Figura 4. Patrón de mezclado en mezcladoras horizontales de paletas [4].

Puesto que necesita componentes más resistentes, esta resulta ser más cara que una mezcladora vertical; en general es estacionaria, pero es posible hacerla portátil [4].

Como sus componentes son más robustos entonces su desgaste es relativamente lento y su costo de producción anual es menor comparado con una de tipo vertical [4].

Una ventaja de este tipo de mezcladoras es que pueden adicionarse a la mezcla niveles de líquidos del 8 al 10%, como son la melaza o grasa [4].

c.- Mezcladoras de Tambor

Utiliza el principio de funcionamiento de mezclado de una revolvedora de concreto (ver Figura 5). Teóricamente, si se las llena a la capacidad recomendada y se aplica por un tiempo adecuado, se puede obtener una excelente mezcla, sin embargo, si se le añaden aceites o melaza puede presentar problemas de obstrucción [4].

Su bajo consumo de energía ha hecho que el uso de este tipo de equipos se incremente, a pesar de la poca información que existe respecto a su confiabilidad o capacidad para producir mezclas uniformes [4].

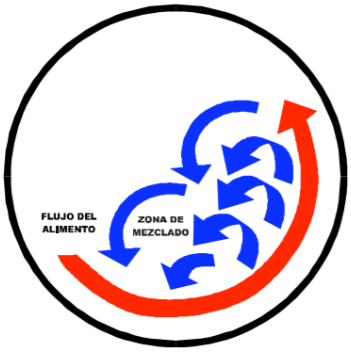


Figura 5. Patrón de mezclado en mezcladoras de tambor [4].

1.3. Problemas comunes en las mezcladoras

a) **Mezcladoras Horizontales**.- El sobrellenado es el problema más común, así como la falta de llenado; para producir una mezcla adecuada se recomienda cargarlas cuando más a dos tercios de su capacidad y en caso de utilizar ingredientes poco densos como el salvado hay que reducir aún más la cantidad de mezcla [4].

El orden a seguir para cargar los componentes a una mezcladora es [4]:

- Ingredientes de partícula gruesa (granos, pastas)
- Ingredientes de partícula fina (pre-mezclas y/o minerales)
- Aditivos (proteínas)
- Líquidos

Los líquidos deben ser adicionados una vez que se ha producido una mezcla adecuada de los ingredientes secos, ya que los líquidos alargan el proceso de mezclado [4].

b) **Mezcladoras Verticales**.- El sobrellenado es el problema que más le afecta, y por regla general no se debe sobrepasar con la mezcla el nivel del tubo elevador de alimento [4].

1.4. Agitación

Consiste en forzar, utilizando medios mecánicos, a un fluido para que alcance un movimiento circulatorio dentro de un contenedor, con esto se consigue [15]:

- La mezcla de dos líquidos miscibles (como el agua y etanol)
- La amalgamación de líquidos en sólidos (como el agua y la harina)
- Aumentar la transferencia de calor
- La separación de dos líquidos no miscibles (como el agua y aceite)

Por lo general, el equipo consta de un recipiente cilíndrico que puede ser cerrado o abierto, y dentro un agitador propulsado por un motor eléctrico. Las dimensiones del tanque varían en función del tipo de agitación que se desee obtener. Los bordes internos y el fondo del contenedor deben ser redondeados con la finalidad de permitir

que las corrientes del fluido lleguen a todos los rincones del tanque, además de eliminar la posibilidad de que los ingredientes puedan arrinconarse [15].

El agitador normalmente se monta sobre un eje ya sea vertical que horizontal; este es accionado por un motor que normalmente está conectado mediante un caja reductora o variador de velocidad [15].

1.5. Tipos de agitadores

La mezcla es la parte principal del proceso, es por eso que se debe diseñar de la mejor manera, teniendo en consideración no solo el elemento que realizará la mezcla sino también la forma del recipiente. En el capítulo II se realizará la selección de la mejor alternativa, que a continuación se va a presentar.

- Mezclador de cintas o doble ribbon
- Mezcladora horizontal de paletas planas
- Mezcladora de paletas simples
- Mezcladora horizontal de paletas tipo ancla

a) **Mezclador de cintas o doble ribbon**

Consiste de una cubeta horizontal provista de un eje central y un agitador de cintas horizontales. Dos cintas contra actuantes se montan sobre el mismo eje: una mueve el sólido muy lento en una dirección, el otro lo mueve muy rápido en la otra. Las cintas pueden ser continuas o interrumpidas (ver Figura 6) [16].

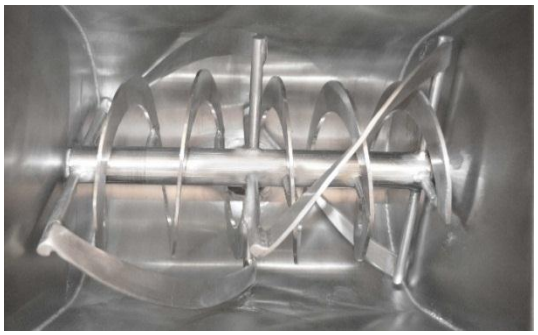


Figura 6. Mezclador de cintas o doble ribbon [17].

Los mezcladores de cintas resultan efectivos para pasta fina y para polvos que no fluyen con facilidad [16]. La energía que se requiere es moderada. En este tipo de

equipos la totalidad de las partículas se encuentran en movimiento, por lo que el tiempo necesario para lograr una mezcla homogénea varía entre los 2 a 4 minutos. Se utiliza para el mezclado de alimentos en seco. [4]

b) Mezcladora horizontal de paletas planas

El tiempo de producción de este equipo similar al de cintas. En el mezclado de estos equipos es posible adicionar aceites o melazas. Este tipo de mezcladora consiste en una o varias series de agitadores dispuestos en forma vertical y/o inclinados que se unen a un eje horizontal que gira de forma axial dentro del contenedor (ver Figura 7). En este tipo de mezcladoras todo el material sigue una trayectoria circular dentro del recipiente [16].

Estos equipos son utilizados para la mezcla de pastas espesas; sin embargo, resultan poco eficientes ante mezclas poco espesas o líquidos viscosos [16].

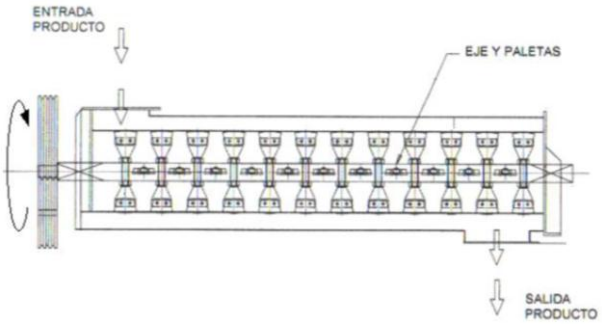


Figura 7. Mezcladora horizontal de paletas planas [16].

c) Mezcladora de paletas simples

Utilizada para la mezcla de fluidos de baja viscosidad, consta de paletas colocadas en un solo eje (ver Figura 8) que recibe la potencia del motor, una característica es que puede trabajar en posición tanto vertical como horizontal [16].

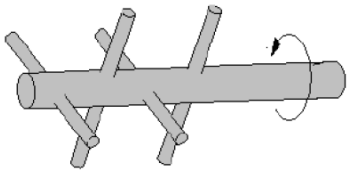


Figura 8. Mezclador de paletas simples [16].

d) Mezcladora horizontal de paletas tipo ancla

Esta alternativa (Figura 9) utiliza un eje interior al cual se le adjuntan paletas tipo ancla a 120º una de la otra, esto causa un movimiento secuencial que homogeniza la crema en menor tiempo, la forma del recipiente es semicilíndrica en el fondo y con una boca ligeramente rectangular en la parte superior [16].

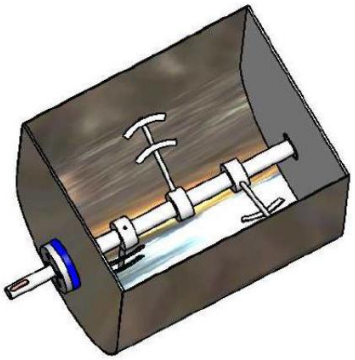


Figura 9. Mezcladora horizontal de paleta tipo ancla [16].

1.6. Higiene del equipo

Un aspecto fundamental en el diseño del equipo es la higiene y limpieza del mismo, puesto que estos factores hacen exitoso el proceso de elaboración de la pasta.

En base a esto, todos los elementos que forman parte de la máquina y que estan en directo contacto con los alimentos, deben tener un diseño que facilite la limpieza, tal como un desmontaje y montaje sencillo y rapido, que utilice herramientas sensillas, o en tal caso, deben poseer un diseño tal que la limpieza pueda realizarse *in situ* [18].

Todas las superficies en contacto con productos alimenticios se deben diseñar de manera que se pueda evitar el depósito indeseable de los mismos. Esto hará que se realice un vaciado completo de los fondos de los recipientes, los cuales deben redondearse o a su vez hacerlos inclinados. Lo deseable es tener una pendiente de fondo mínima de 10 mm por metro. Se deben evitar rincones interiores agudos, siendo un radio mínimo preferible de 5 mm [18].

1.7. Materiales

Dentro de la higiene está la selección de los materiales, en particular los que están en contacto con los alimentos. Estos deben ser lisos y exentos de huecos y grietas, además no deben poseer características absorbentes y no deben alterarse en su estructura física y química por contacto con el producto alimenticio o por agentes de limpieza [18].

Existen materiales formados por ciertos elementos químicos, que si llegan a mezclarse con el alimento, pueden resultar peligrosos para la salud. Por este motivo se debe verificar si dichos materiales tienen el grado alimenticio para proceder con la selección de los mismos.

Entre los contaminantes metálicos se encuentran el cobre, hierro, zinc, cadmio, antimonio y plomo. Se deben evitar metales capaces de promover acciones químicas o electrolíticas al ponerse en contacto con un ambiente líquido. En el caso de utilizar sustancias plásticas, estas deben ser resistente a la abrasión y carecer de constituyentes que emigren hacia el alimento [18].

1.7.1. Materiales comunes en la industria alimentaria

Los componentes del equipo que se encuentran en contacto con los alimentos durante el proceso de producción no deben expeler sustancias nocivas ni absorber compuestos del alimento, esto a fin de no alterar de forma desfavorable en el sabor u olor de los mismos [19].

Se debe garantizar que los productos de limpieza como desinfectantes o jabones no reaccionen con los materiales constitutivos del equipo, por lo que dichos materiales deben poseer resistencia a la corrosión, ser estables mecánicamente y han de ser diseñados de tal forma que sus superficies de trabajo no sufran alteraciones [19].

a) Acero inoxidable.- Es la opción más común y lógica para la construcción de máquinas y equipos dentro de la industria de los alimentos. Este material ofrece un óptimo acabado superficial lo que es ideal para la limpieza.

Adicional ofrece una gran resistencia a la corrosión al ser expuesto a diversos ambientes [19]. En la Tabla 2, se puede observar los diferentes tipos de acero inoxidable que existen en el mercado.

Tabla 2. Aceros de aleación fina (conformidad con la directiva 2002/95/CE) [19].

AISI	EN10088-1	DIN	Internacional	Apto para el contacto con productos alimentarios según	Clase de resistencia a la corrosión CRC
AISI 304	X5CrNi18-10	1.4301	0Cr18Ni9 (China) SUS 304 (Japón) STS 304 (Corea) 08Ch18N10 (CEI)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	STS 316 (Corea) 08Ch16N11M3 (CEI) 0Cr17Ni12Mo2 (China) SUS 316 (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316L	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	00Cr17Ni14Mo2 (China) STS 316L (Corea) SUS 316L (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316L	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	00Cr17Ni14Mo2 (China) SUS 316L (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 329	X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	0Cr26Ni5Mo2 (China) 10Ch26N5M (CEI) SUS 329J1 (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316Ti	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	0Cr18Ni12MoTi (China) 10Ch17N13M2T (CEI) STS 316Ti (Corea) SUS 316Ti (Japón)	ANSI/NSF 51	El titanio incrementa la CRC a 4

b) Materiales de aluminio.- Los materiales de aluminio (ver Tabla 3) se utilizan generalmente para estructuras por sus bajos costos y su fácil mecanizado. Se debe tener cuidado al momento de seleccionar los agentes de limpieza adecuados, debido a que este material es atacado por ácidos y por álcalis [19].

Tabla 3. Aleaciones de aluminio (conformidad con directiva 2002/95/CE) [19].

Denominación	Código de material según EN	Apto para el contacto con productos alimentarios según	Clase de resistencia a la corrosión CRC sin tratar	Clase de resistencia a la corrosión CRC anodizado
AlCuMg1, AlCuMg2	EN AW-2017A, EN AW-2024	–	0	1
Al99,5	EN-AW-1050A	ANSI/NSF 51	0 ... 1	2
AlMgSi0,5	EN-AW-6060	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMgSi0,7	EN-AW-6005A	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMgSi1	EN-AW-6082	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMg1, AlMg3, AlMg5	EN-AW-5005, EN-AW-5774, EN-AW-5019	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3

c) Materiales sintéticos.- Estos materiales deben cumplir la disposición 1935/2004/CE o la disposición sobre materiales sintéticos 10/2011 o en su defecto las directivas de la FDA (Tabla 4). Por lo tanto la capacidad de limpieza es uno de los factores predominantes al momento de seleccionar un material sintético; además

dichos materiales no deben desprender ni absorber sustancias nocivas pero si deben ser resistentes a la corrosión. [19].

Tabla 4. Materiales sintéticos y elastómeros [19].

Denominación	Abreviatura	Conformidad dentro de un grupo posible según:	Resistencia a ácidos diluidos	Resistencia a lejías diluidas
Polipropileno	PP	FDA y / o 10/2011	±	+
Poliamida	PA	FDA y / o 10/2011	–	o
Cloruro de polivinilo	PVC	–	±	±
Polifluoruro de vinilideno	PVDF	FDA y / o 10/2011	±	±
Polioximetileno	POM	FDA y / o 10/2011	–	o
Polimetilmetacrilato	PMMA	FDA y / o 10/2011	±	±
Policarbonato	PC	FDA y / o 10/2011	±	–
Polietileno HD	PE-HD	FDA y / o 10/2011	±	±
Tereftalato de polietileno	PET	FDA y / o 10/2011	o	–
Polieteretercetona	PEEK	FDA y / o 10/2011	±	±
Politetrafluoroetileno	PTFE	FDA y / o 10/2011	±	±
Caucho etileno-propileno-dieno	EPDM	FDA	±	±
Caucho fluorado	FKM/caucho fluorado	FDA	±	–

–: no resistente; o: limitadamente resistente; +:resistente

1.8. Soldadura

El metal que se utiliza para la elaboración de máquinas que están en contacto con los alimentos es el acero inoxidable AISI 304, conocido también como *acero inoxidable* de *grado alimenticio*.

Los procesos de soldadura que se pueden llevar a cabo son:

- Soldadura con electrodo revestido.
- Soldadura TIG, donde se usa un gas inerte (argón) a fin de crear una capa de protección para la superficie de soldadura. Si se requiere, es posible utilizar un metal de aporte en forma de alambre, el cual puede ser alimentado de forma manual o automática [20].
- Soldadura MIG, donde se usa gas inerte, utilizando además alambre tubular continúo.

Los metales de aporte para soldar aceros inoxidables se ilustran en la Tabla 5 [20].

Tabla 5. Materiales de aporte para soldadura de acero inoxidable [20].

Metal de base	Electrodo recubierto AWS o nombre común	Electrodo desnudo y varilla – AWS o nombre común
AISI (UNS)	**AWS A5.4 (UNS)**	**AWS A5.9 (UNS)**
304 (S30400)	E 308 (W30810)	ER 308 (S30880)
304L (S30403)	E308L (W30813)	ER 308L (S30883)

1.9. Dado extrusor

La extrusión del empasto es muy importante, ya que mediante este proceso se pueden producir los distintos modelos deseados de pasta larga y corta.

Los moldes que se utilizan son realizados enteramente en bronce al aluminio, para obtener una pasta más rugosa, o se pueden poner inserciones en PTFE, para obtener una pasta más lisa y brillante [21]. Normalmente se requiere que la pasta pueda preservar su porosidad, tal que pueda favorecer una mayor adherencia de los condimentos [22].

Este elemento puede seleccionarse mediante catálogos de fabricantes que lo realizan o en su defecto se puede maquinar el material y obtener el propio dado extrusor deseado.

1.10. Tornillo extrusor

La palabra *extruir* significa dar forma o plastificar un material a presión a través de un dado. El extrusor típico, para la producción de fideo, es llamado de baja presión, puesto que la fuerzas de corte no son muy altas como para producir el efecto de cocción. [23]

Generalmente, los tornillos extrusores, que tienen una alta relación de longitud al diámetro, son utilizados para operaciones de cocción, ya que mientras más largo es el tornillo, más control de operación se tiene [24]. Por ese motivo no es necesario realizar un tornillo extrusor largo.

Otro factor es, la altura de las aletas del tornillo, que están relacionadas con la relación de compresión y que en los extrusores formadores o transportadores son muy profundas, lo cual da una relación de compresión muy baja, en cambio, en los de alto esfuerzo, la altura de la aleta del tornillo es muy pequeña, lo cual da relaciones de compresión muy altas [24]. Por este motivo se requiere que las aletas para este elemento deben ser altas, puesto que, el producto solamente es transportado hacia la sección de presión o dado.

Un ulterior aspecto es la velocidad de giro del tornillo, la cual no debe superar las 60 rpm [25]. Esto debido a que a velocidades superiores, el incremento de la temperatura debido a la fricción provoca que la pasta inicie el proceso de cocción.

En resumen existen dos maneras sencillas de disminuir y sobre todo controlar la fuerza de corte o rozamiento (lo cual generaría fricción y cocción del material):

a.- Teniendo aletas altas
b.- Bajas velocidades de giro

Se puede utilizar un doble tornillo para este proceso, pero teniendo en cuenta el aspecto económico y sencillez de mantenimiento; es más conveniente utilizar un simple tornillo para este trabajo.

CAPÍTULO 2
SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

2.1. Selección del modelo de la máquina

Previo a la elección del diseño definitivo se han considerado las siguientes alternativas:

a) **Alternativa 1**

La mezcladora tiene dos ejes (Figura 10):

- El eje superior sirve para mezclar el empasto. Este eje tiene agitadores de paletas simples rectangulares, los cuales están orientados con un ángulo de ataque (35° a 40°), que permiten un mejor mezclado. Estas paletas están soldadas al eje.
- El eje inferior, tiene la forma de un tornillo sin fin, y sirve para extruir la pasta que está en la parte inferior.

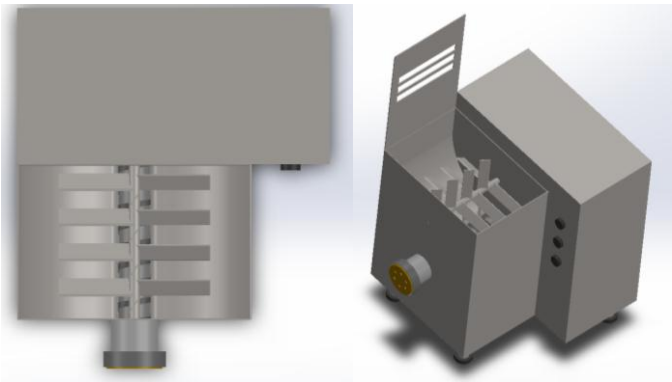


Figura 10. Alternativa 1 de la máquina. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

b) **Alternativa 2**

El funcionamiento es similar a la primera alternativa, pero este tiene (Figura 11):

- Una compuerta circular alrededor del tornillo sin fin, que separa el compartimiento de mezclado con el de extrusión, cuando se está realizando el proceso de mezclado.

- Una vez que se requiera extruir la pasta, esta compuerta circular se abre, permitiendo que la masa pueda ingresar al tornillo sinfín y realizar así la extrusión.
- El eje superior tiene paletas circulares, las cuales en su parte exterior están inclinadas para realizar un mejor mezclado.

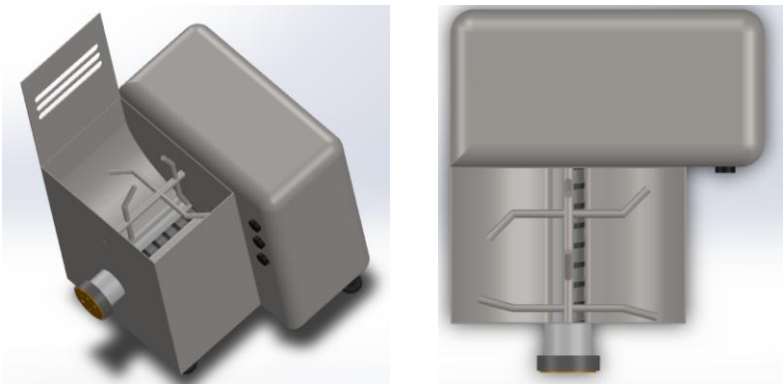


Figura 11. Alternativa 2 de la máquina. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

c) Alternativa 3

Esta máquina consta de un solo eje (Figura 12), y tiene como características:

- El mezclado se realiza con una pala única; el movimiento rotativo del eje, para el mezclado es en sentido horario, vista la máquina de frente.
- El movimiento rotativo del eje, para la extrusión es en sentido anti-horario, vista la máquina de frente. Se debe considerar más adelante, que esta máquina no tiene una alta funcionalidad en el mezclado.

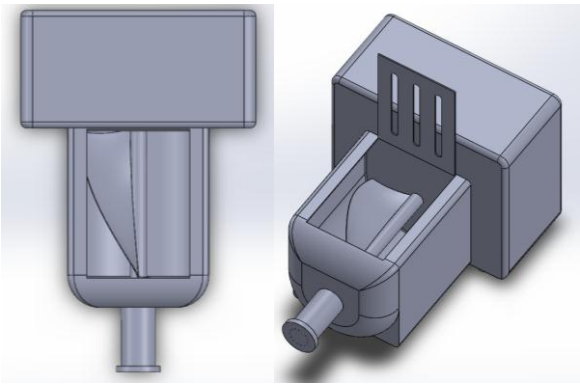


Figura 12. Alternativa 3 de la máquina. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

2.1.1. Proceso de selección

Para el proceso de selección se van a evaluar seis parámetros, los mismos que van a ser calificados en una escala del uno al cinco, donde:

- 5 = Excelente
- 4 = Muy Bueno
- 3 = Bueno
- 2 = Regular
- 1 = Malo

Los puntos a evaluar son:

- Costo
- Facilidad de mantenimiento
- Funcionalidad
- Seguridad para el usuario
- Capacidad de producción
- Facilidad de fabricación

2.1.1.1. Costo: El enfoque de esta máquina está orientada a la pequeña y mediana empresa, puesto que con un costo bajo facilitaría su aceptación e introducción en el mercado.

Todos los equipos tienen por lo menos un eje motriz, motor, carcaza y rodamientos, por tanto el costo de fabricación estará en función de los elementos adicionales a estos elementos. En la Tabla 6 se resume el análisis de costo de las 3 alternativas.

Tabla 6. Análisis del costo para la selección.

MODELO	ANÁLISIS	PUNTAJE
1	Tiene dos ejes en la misma cámara de mezclado	4
2	Tiene dos ejes, en cámara separadas por una rendija móvil	3
3	Posee un solo eje en una sola cámara, pero la hélice de mezclado es muy voluminosa	5

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

2.1.1.2. Facilidad de mantenimiento: En pequeñas y medianas empresas no siempre se tiene personal especializado en mantenimiento, por lo que este trabajo debe ser realizado por los propios usuarios.

Al igual que el costo, se analizará la facilidad de mantenimiento considerando la cantidad de piezas adicionales que tenga cada equipo, con referencia a la cantidad de piezas comunes (ver Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de la facilidad del mantenimiento para la selección.

MODELO	ANÁLISIS	PUNTAJE
1	Tiene dos ejes en la misma cámara de mezclado	4
2	Tiene dos ejes, en cámara separadas por una rendija móvil	3
3	Posee un solo eje en una sola cámara, pero la hélice de mezclado es muy voluminosa	5

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

2.1.1.3. Funcionalidad: El equipo debe funcionar siempre de la misma manera en que está especificado. El primer modelo, al no tener separación de cámaras entre mezclado y extruido presenta problemas en las fases de mezclado inicial, mientras que el tercer modelo posee un único eje que realiza ambas funciones, teniendo que detener el equipo y ponerlo en marcha inversa para cambiar de función de mezclado a extruido.

En la Tabla 8 se resume el análisis de funcionalidad de las 3 alternativas.

Tabla 8. Análisis de la funcionalidad para la selección.

MODELO	ANÁLISIS	PUNTAJE
1	El mezclado y extruido se realiza en la misma cámara, por dos diferentes ejes, lo que complica la función del mezclado en etapas iniciales	3
2	Tiene dos cámaras especializadas, lo que hace que el trabajo sea realizado de la mejor manera	5
3	Hay que detener el movimiento del eje e invertirlo para cambiar de operación de mezclado a extruido.	4

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

2.1.1.4. Seguridad: En la actualidad este es un punto muy importante para que un equipo pueda salir a la venta. En el primer modelo, el operario debe estar atento en la operación inicial de mezcla, mientras que en el tercer modelo el gran tamaño de su hélice podría causar atrapamiento de las manos o utensilios que se usen en la preparación.

En la Tabla 9 se resume el análisis de seguridad de las 3 alternativas.

Tabla 9. Análisis de la seguridad para la selección.

MODELO	ANÁLISIS	PUNTAJE
1	Requiere vigilancia por parte de un operario en las fases iniciales del proceso	4
2	Solo requiere que se le agreguen los ingredientes y que el operario inicie el proceso de extrusión, su forma con paletas dificulta que un utensilio quede atrapado dentro del equipo.	5
3	El gran tamaño de su hélice puede atrapar utensilio o la mano de algún operario.	3

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

2.1.1.5. Capacidad: El equipo debe tener la capacidad de producir los 12 kilogramos hora de pasta. En el primer modelo, el mezclado inicial se ha de realizar fuera del equipo, lo que conlleva tiempo adicional al proceso de producción; el tercer sistema es más independiente, pero su hélice, debe de ser limpiada con regularidad para no estropear el ciclo de elaboraciones (ver Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de la capacidad para la selección.

MODELO	ANÁLISIS	PUNTAJE
1	Requiere tiempo adicional para la elaboración de la mezcla inicial de la pasta.	3
2	Es totalmente automática y de fácil limpieza.	5
3	Requiere más tiempos de limpieza.	4

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

2.1.1.6. Facilidad de fabricación: Para poder construirla y ensamblarla en el mercado nacional. El primer modelo requiere un estudio más detallado de la ubicación de los ejes, para que puedan cumplir adecuadamente sus funciones dentro de una misma cámara, mientras que una hélice grande requiere procesos constructivos más complejos, como el conformado o la fundición (ver Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de la facilidad de fabricación para la selección.

MODELO	ANÁLISIS	PUNTAJE
1	Requiere un estudio más detallado de ubicación de piezas y partes móviles	4
2	Es totalmente automática y de fácil limpieza.	5
3	Requiere procesos de fabricación como el conformado mecánico o fundición	3

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

Consolidando todos los puntos mencionados se tiene la Tabla 12:

Tabla 12. Selección del tipo de máquina.

Alternativas	Necesidades						Valor global	Valor porcentual
	Costo	Facilidad de mantenimiento	Funcionalidad	Seguridad	Capacidad de producción	Facilidad de fabricación		
Alternativa 1	4	4	4	4	5	4	25/30	83.3 %
Alternativa 2	**3.5**	**3**	**5**	**5**	**5**	**4**	**25.5/30**	**85.0 %**
Alternativa 3	4	5	3	3	4	3	22/30	73.3 %

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

Por lo que se determina que la mejor alternativa es la número 2.

2.2. Selección de los agitadores

Ultimado el empasto, esté debe ser del tipo granular, para que pueda entrar en los orificios del tornillo extrusor y poder ser extruido. Por lo tanto se requiere determinar la mejor alternativa para el elemento que va a realizar el proceso de mezclado.

a) **Primera alternativa de los agitadores**

Estos agitadores tienen la forma de remos (ver Figura 13), los cuales están armados sobre el eje horizontal del eje mezclador. Para reducir y evitar el flujo axial, lo que puede producir una sobrepresión en una de las paredes del contenedor, es necesario montar esta serie de brazos verticales con una inclinación, además de alternar dichos agitadores para anular dicho efecto.

Este tipo de agitador es útil para la mezcla de sustancias espesas o plásticas [26]. Son además, fáciles de construir y su costo es bajo.

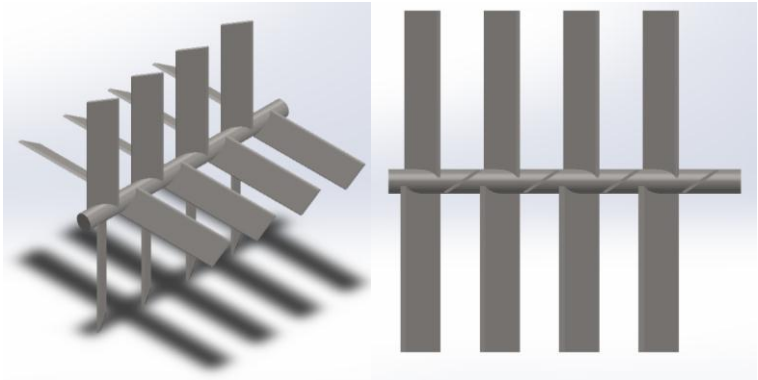


Figura 13. Alternativa 1 de los agitadores. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

b) **Segunda alternativa de los agitadores**

Al igual que la primera alternativa, estos son brazos verticales montados sobre un eje horizontal. Tienen una parte recta y la otra inclinada con un cierto ángulo, lo cual garantiza que exista una buena mezcla de la masa (Figura 14).
Así mismo para evitar el flujo axial se instalan con orientación opuesta.

Se pueden instalar paletas cortas y largas; las primeras se utilizan para disoluciones y para mantener una buena condición de dispersión; las segundas se utilizan para agitar masas viscosas o demasiado densas que dificultan la circulación del material.

Cabe resaltar que estos tipos de agitadores se deben emplear para mezclas constantes a bajas revoluciones [27].

La longitud de estos agitadores, de extremo a extremo, varía entre 0.3 y 0.5 del diámetro del recipiente [27].El costo de fabricación es bajo, mientras que su montaje y mantenimiento es económico.

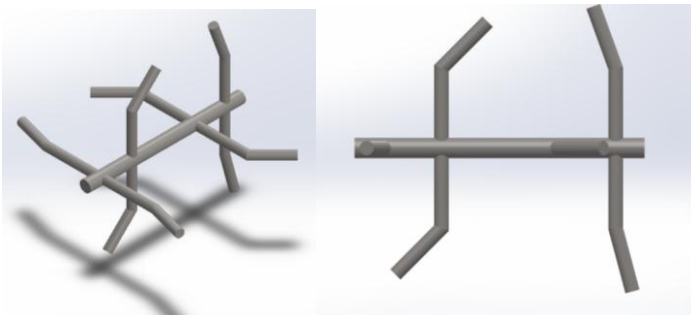


Figura 14. Alternativa 2 de los agitadores. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

c) **Tercera alternativa de los agitadores**

Tiene el diseño base de la alternativa 2, pero se agregan aletas alternantes transversales, a las paletas verticales, para mejorar el mezclado (Figura 15). Se incrementa el costo de fabricación y mantenimiento.

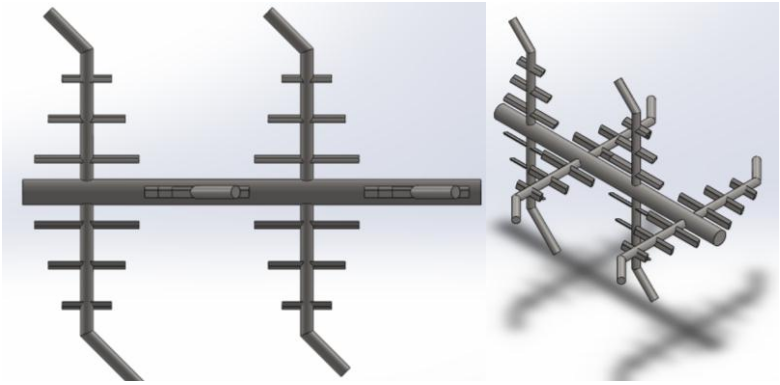


Figura 15. Alternativa 3 de los agitadores. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

d) **Cuarta alternativa de los agitadores**

Agitadores de cintas helicoidales Ribbon

Estos agitadores generan el movimiento mediante la turbulencia que producen las cintas en sentido radial y lateral, garantizando por lo tanto un optima mezcla [28]

(ver Figura 16). Son muy eficientes pero el costo de fabricación es elevado, mientras que la instalación y mantenimiento son complejos.

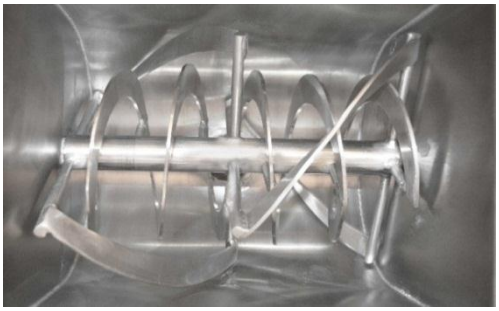


Figura 16. Mezclador de cintas o doble ribbon [17].

2.2.1. Proceso de selección

Para el proceso de selección se evalúan cinco parámetros, que van a ser calificados en una escala del uno al cinco, donde:

5 = Excelente	3 = Bueno	1 = Malo
4 = Muy Bueno	2 = Regular	

Los puntos a evaluar son:

- Costo
- Funcionalidad
- Facilidad de fabricación
- Intercambiabilidad
- Facilidad de mantenimiento

2.2.1.1. Costo: El enfoque de esta máquina está orientada a la pequeña y mediana empresa, por lo que un costo bajo facilitaría su aceptación e introducción en el mercado.

2.2.1.2. Funcionalidad: El equipo debe funcionar siempre de la misma manera en que está especificado.

2.2.1.3. Facilidad de fabricación: Que pueda ser construida y ensamblada en el mercado nacional

2.2.1.4. Intercambiabilidad: A fin que la máquina sea versátil y pueda ser usada en la elaboración de otros productos, la capacidad de poder cambiar sus especificaciones de funcionamiento con facilidad es importante.

2.2.1.5. Facilidad de mantenimiento: En pequeñas y medianas empresas no siempre se tiene personal especializado en mantenimiento, por lo que este trabajo debe ser realizado por los propios cocineros.

En la Tabla 13, se ilustra el resumen de las alternativas descritas anteriormente, considerando los diversos factores que se pueden presentar al momento de la elaboración de los elementos.

Tabla 13. Selección del agitador.

Alternativas	Necesidades					Valor global	Valor porcentual
	Costo	Funcionalidad	Facilidad de fabricación	Intercambiabilidad	Facilidad de mantenimiento		
Alternativa 1	3	4	3	5	3,5	18,5/25	74,0 %
Alternativa 2	**4,5**	**1,5**	**4,5**	**5**	**5**	**20,5/25**	**82,0 %**
Alternativa 3	3	5	2,5	5	3,5	19,0/25	76,0 %
Alternativa 4	3	5	3,5	2	3	16,5/25	66,0 %

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

Por lo que se determina que la alternativa número dos es la mejor para este caso de estudio.

2.3. Diseño estático

2.3.1. Diseño del agitador

Los agitadores deben soportar la presión máxima que la masa de la pasta ejerce sobre ellos. La presión de la pasta, al momento de mezclar, en la zona crítica, se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$p_1 = \rho \cdot g \cdot h \tag{1}$$

Donde ρ, es la densidad de la pasta; g, aceleración gravitacional; h, es la altura del agitador desde el eje neutro del eje mezclador (ver Figura 17).

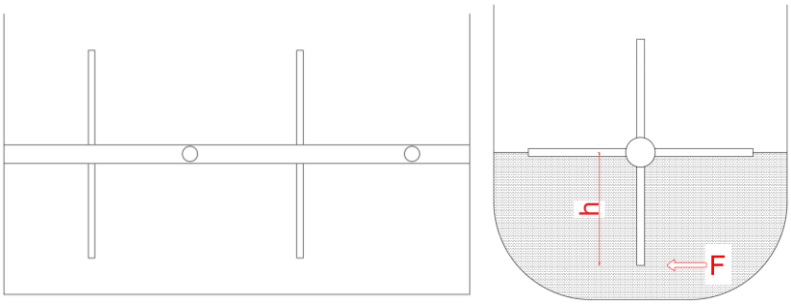


Figura 17. Esquema de la zona de mezclado. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

El área donde actúa la presión se determina mediante la siguiente fórmula:

$$A_1 = \frac{\overline{V_1}}{h} \tag{2}$$

Donde $\overline{V_1}$, es el volumen que ocupa la masa de la pasta.

El caso más crítico es cuando el agitador se encuentra en la posición 2, sumergida completamente y donde la presión de la pasta es mayor, Figura. 18.

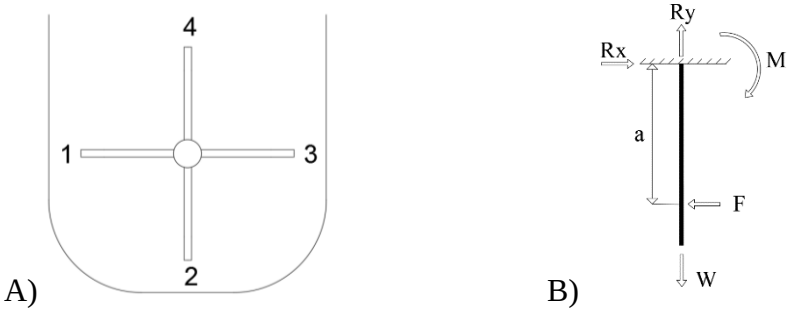


Figura 18. A) Esquema de la posición de los agitadores. B) Diagrama de cuerpo libre del agitador en la posición 2. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

El agitador estará sujeto principalmente a flexión, por lo tanto se considerará el momento máximo que esta va a soportar durante la rotación del eje mezclador.

Se puede simplificar que el agitador se comporta como una viga en voladizo, y el momento máximo se puede calcular con la expresión (3) [29]:

$$M_{máx} = F \cdot a \tag{3}$$

Donde *F* es la fuerza necesaria, resultante de la carga distribuida, para que el agitador pueda mover la masa de la pasta; *a* es la longitud del agitador hasta el centro de masa.

El diámetro mínimo del agitador está dado por (2-4) [30]:

$$d_{ag} = \sqrt[3]{\frac{32\, M_{máx}}{\pi\, [\sigma]}} \tag{4}$$

El agitador, como ya se mencionó en la selección de agitadores, debe ser práctico, sencillo, con bajo costo de fabricación, y fácil mantenimiento. El diseño seleccionado es el de la figura 2.5.

Para determinar el peso del agitador se debe calcular el volumen del mismo:

$$\bar{V}_{agitador} = \frac{\pi}{4} * {d_{ag}}^2 * l_{ag} + \bar{V}_{ag} \tag{5}$$

Por tanto el peso del agitador resultará:

$$W_{ag} = \bar{V}_{ag} * \rho_{AISI.304} * g \tag{6}$$

2.3.2. Formulación para el diseño del eje mezclador y extrusor

La potencia se calcula como:

$$P = T \cdot n \tag{7}$$

El diámetro del eje se puede calcular con formula [30]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16\, T}{\pi\, [\tau]}} \tag{8}$$

Donde $[\tau]$, es el esfuerzo cortante permisible; *T*, es el torque; *n*, es la velocidad de giro.

Como los ejes están sujetos a torsión y flexión, el diámetro se calcula:

$$[\sigma] = \sqrt{\left(\frac{32\,M}{\pi * d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16\,T}{\pi * d^3}\right)^2} \tag{9}$$

2.3.3. Formulación para el diseño del eje extrusor

El eje extrusor, debe generar una fuerza de compresión axial, para poder extruir la pasta. El área de compresión se determina con la diferencia entre el área del diámetro externo de la hélice y el diámetro del eje interior (ver Figura 19).

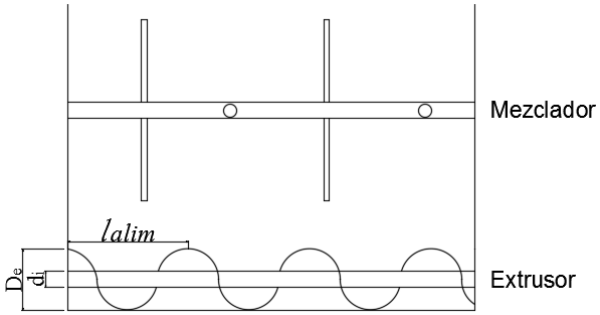


Figura 19. Esquema de los ejes mezclador y extrusor. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

De este modo resultará que el área de compresión A_c, es:

$$A_c = \frac{\pi}{4} * \left({D_e}^2 - {d_i}^2\right) \tag{10}$$

Donde D_e, es el diámetro externo de las hélices; d_i, *es el diámetro interno del eje extrusor*.

La fuerza de compresión axial que soporta el extrusor, se calcula:

$$F_c = \tau * A_c \tag{11}$$

El volumen de relleno, que transportan las hélices del extrusor se determina

$$\bar{V}_{relleno.máx} = \frac{\pi}{4}\left({D_e}^2 - {d_i}^2\right) * l_{alim} \tag{12}$$

Donde l_{alim}, *es el paso de alimentación*

El peso de relleno se calcula multiplicando el volumen de relleno máximo, con la densidad de la pasta y la gravedad:

$$W_{relleno.i} = \bar{V}_{relleno.max.i} * \rho_{pasta} * g \tag{13}$$

La fuerza necesaria para transportar la masa de la pasta se calcula multiplicando el peso de relleno por el coeficiente de fricción, determinado por ensayo. (Anexo 11)

$$F_{transp} = W_{relleno.i} * \mu_1 \tag{14}$$

2.4. Diseño a fatiga

Las partes de máquinas que están sometidas a cargas fluctuantes en el tiempo presentan diferentes comportamientos [30]. Por este motivo, es necesario realizar el diseño de los ejes, a fatiga, debido a que estarán sometidos a una carga variable.

A continuación se presentará uno de los varios métodos, dentro de la teoría de fallas, para realizar el diseño a fatiga. Este método tiene como objetivo la elaboración del Diagrama de Goodman, para determinar el diámetro y factor de seguridad adecuado de los ejes de mezclado y extrusión.

Por tanto se dará a conocer las fórmulas necesarias para determinar y elaborar dicho diagrama, estableciendo además un factor de seguridad que proporcione una alta fiabilidad frente a la presencia de fatiga. [31].

2.4.1. Método esfuerzo-vida

Para el diseño preliminar y de prototipos, se necesita un método breve para estimar los límites de resistencia. A continuación se presentará un método que permitirá la estimación de los límites de resistencia a la fatiga [30].
Utilizando la ecuación de Marín [30]:

$$S_e = S'_e\, k_a\, k_b\, k_c\, k_d\, k_e\, k_f \tag{15}$$

Donde S'_e=límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria;
S_e=límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso;
k_a= factor de superficie;
k_b=factor de tamaño;
k_c=factor de carga (tipo de carga);
k_d=factor de temperatura;
k_e=factor de confiabilidad;
k_f=factor de efectos diversos [30].

- **Factor de superficie $\mathbf{k_a}$**

Este factor depende de la calidad del acabado superficial y de la resistencia a la tensión, y se determina [30].

$$K_a = aS_{ut}^b \tag{16}$$

Donde los coeficientes a y b, se encuentran en el anexo A1.1, mientras que S_{ut} es la resistencia última a la tensión del material.

- **Factor de tamaño $\mathbf{k_b}$**

El factor de tamaño para flexión y torsión se expresan como [30]:

$$k_b = \begin{cases} \left(\dfrac{d}{0{,}3}\right)^{-0{,}107} & (0{,}11 \le d \le 2).pu\lg \\ 0{,}91d^{-0.157} & (2 < d \le 10).pu\lg \\ \left(\dfrac{d}{7{,}62}\right)^{-0{,}107} & (2{,}79 \le d \le 51).mm \\ 1{,}51d^{-0{,}157} & (51 < d \le 254).mm \end{cases} \tag{17}$$

$k_b = 1$ Para carga axial

- **Factor de carga $\mathbf{k_c}$**

Este factor hace referencia al tipo de carga que va a tener el eje, a flexión, axial y torsión, según la fórmula:

$$k_c = \begin{cases} 1 & flexión \\ 0{,}85 & axial \\ 0{,}59 & torsión \end{cases} \tag{18}$$

Para la torsión pura, se determina que $k_{c.torsión} = 0{,}577$. Mientras que si la torsión está combinada con la flexión, $k_c = 1$ [30].

- **Factor de temperatura $\mathbf{k_d}$**

Está relacionado con la temperatura de operación [30], como se observa en el anexo A1.2

- **Factor de confiabilidad k_e**

Este factor es estadístico y depende de la confiabilidad deseada. Por defecto se considera una confiabilidad del 50 %, por lo que el factor k_e=1 [30].

- **Factor de concentración de esfuerzos por fatiga k_f**

Este factor se utiliza cuando existen irregularidades o discontinuidades en la pieza tales como ranuras, orificios o muescas que provocan el aumento significativo de los esfuerzos teóricos en la cercanía inmediata de la discontinuidad. Se determina mediante la ecuación (19) [30].

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \tag{19}$$

Donde q= factor de sensibilidad (Ver Anexo 2)

k_t= Factor de concentración de esfuerzos (Ver Anexos 3-4)

- **Límite de resistencia a la fatiga S_e'**

El límite de resistencia a la fatiga se determina con la ecuación (20) [30]:

$$S'_e = \begin{cases} 0{,}5S_{ut} & S_{ut} \leq 200kpsi.(1400MPa) \\ 100kpsi & S_{ut} > 200kpsi \\ 700MPa & S_{ut} > 1400MPa \end{cases} \tag{20}$$

2.4.2. Diagrama de Goodman

El procedimiento para la elaboración del diagrama de Goodman, se utiliza para poder determinar la ubicación de un esfuerzo fluctuante, caracterizado por sus componentes media y alterna, definiendo así su factor de seguridad correspondiente [31].

El procedimiento se detalla cómo sigue (ver anexo 5 y 6):

- En el eje horizontal de este diagrama, se localizará el esfuerzo equivalente medio, σ_{eM}; la resistencia a la cedencia o límite de fluencia del material, S_y, (punto C); y la resistencia a la tracción o esfuerzo último, S_{ut}, (punto D).

- En el eje vertical de este diagrama se localizará el esfuerzo equivalente alterno, σ_{ea}; el límite de resistencia a la fatiga, S_e, (punto E); y la resistencia a la cedencia o límite de fluencia del material, S_y, (punto C')
- Se unen los puntos C y C', D y E, los cuales se intersecaran en el punto F.
- La región delimitada por las rectas $\overline{OC}$, $\overline{CF}$, $\overline{FE}$, $\overline{EO}$ es denominada la "zona segura".
- Utilizando los esfuerzos equivalentes se determina el punto A en el diagrama.
- Se traza una recta desde el origen pasante por el punto A, hasta la intersección con las rectas $\overline{CF}$ o $\overline{FE}$, donde se localizará el punto B, que representa el límite para el factor de seguridad, que en este punto corresponde a $F_s = 1$.
- El factor de seguridad del esfuerzo fluctuante se determina con las rectas $\overline{OA}$ y $\overline{OB}$.

$$F_s = \frac{\overline{OB}}{\overline{OA}} \tag{21}$$

- Los esfuerzos equivalentes medios y alternos se calculan como sigue [31].

$$\sigma_{eM} = \frac{\sigma_M}{2} + \sqrt{{\tau_M}^2 + \left(\frac{\sigma_M}{2}\right)^2} \tag{22}$$

$$\sigma_{ea} = \sqrt{{\sigma_a}^2 + 3 \cdot {\tau_a}^2} \tag{23}$$

Donde σ_M, es el esfuerzo normal medio, producido por fuerza de tensión o compresión;

τ_M, esfuerzo de corte medio, producido por el par de torsión;

σ_a, esfuerzo normal alterno, producido por el momento de flexión;

τ_a, esfuerzo de corte alterno, producido por fuerza cortante.

2.4.2.1. Método del esfuerzo residual

Según este método, dentro de la teoría de fallas, todos los esfuerzos (medios y alternos) se multiplican por el factor de concentración de esfuerzo a fatiga k_f. De este modo los esfuerzos producidos por el par de torsión, flexión y carga axial se multiplican por el factor k_f correspondiente [31].

$$\tau_M = \frac{16\,T}{\pi \cdot d^3} \cdot \left(k_f\right)_{torsión} \tag{24}$$

$$\sigma_a = \frac{32\,M}{\pi \cdot d^3} \cdot \left(k_f\right)_{flexión} \tag{25}$$

$$\sigma_M = \frac{P}{A} \cdot \left(k_f\right)_{axial} \tag{26}$$

De este modo, con relación a lo ya mencionado anteriormente, la ecuación (1), resultaría por tanto:

$$S_e = S'_e \, k_a \, k_b \, k_c \, k_d \, k_e \tag{27}$$

2.5. Diseño del recipiente

El diseño de la pared del recipiente, se realiza mediante la teoría de recipientes de pared delgada [30]. El caso más crítico que se considera es el esfuerzo circunferencial (ver Figura 20).

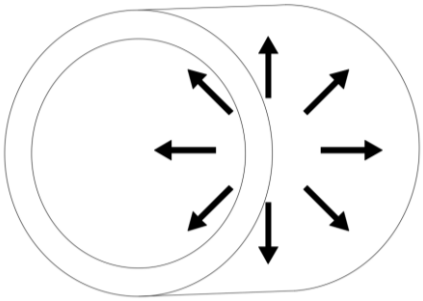


Figura 20. Esfuerzo circunferencial del recipiente [30].

El esfuerzo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$p \cdot d_i = 2 \cdot t \cdot \sigma_t \tag{28}$$

Donde p, es la presión interna ejercida sobre la pared del cilindro; d_i, es el diámetro interior; t, el espesor; σ_t, es el esfuerzo circunferencial [30].

2.6. Diseño de la cuña

Las cuñas o también conocidas como chavetas, son elementos mecánicos que garantizan un fácil montaje y desmontaje, además de asegurar la transmisión de un par motriz a un eje conducido [32].

El diseño se realiza mediante la norma DIN 6885, la cual permite establecer la longitud necesaria de la chaveta para que pueda soportar los esfuerzos por cizallamiento o corte y por aplastamiento [32]. Cabe resaltar que dicha norma establece las medidas de base y altura según el diámetro del eje.

Otra función importante de la chaveta es actuar como fusible mecánico. Por tanto el material utilizado debe ser resistente, pero en menor medida que el eje. Como ya se mencionó en el capítulo 1, el bronce al aluminio es un material que puede estar a contacto con los alimentos y a su vez es de menor resistencia que el acero inoxidable 304, por este motivo se utilizará este material para la elaboración de la chaveta.

La longitud de la chaveta se puede determinar por corte o aplastamiento, y la longitud mayor es la que se considera para el diseño [32].

Por corte:

$$L = \frac{4\,T}{D \cdot B \cdot \frac{Sy}{fs}} \tag{29}$$

Por aplastamiento

$$L = \frac{4\,T}{D \cdot H \cdot \frac{Sy}{fs}} \tag{30}$$

Dónde [32]:

T es el torque;

D es el diámetro del eje;

B es la base de la cuña;

H es la altura de la cuña;

Sy es el límite de fluencia;

Fs es el factor de seguridad.

2.7. Tiempo de trabajo de la máquina

El tiempo de funcionamiento del eje extrusor se determina mediante el flujo volumétrico *Q*.

El flujo volumétrico *Q*, es el volumen que pasa por una determinada sección trasversal en un cierto tiempo [33], definiéndose como:

$$Q = \frac{\overline{V}}{t} \tag{31}$$

A su vez el flujo volumétrico es la velocidad del fluido que pasa por la sección transversal, de este modo la ecuación (31) resulta:

$$Q = v * S \tag{32}$$

La velocidad de avance resulta:

$$v = \frac{n * l_{extr}}{60} \tag{33}$$

Mediante la tabla del anexo 22, se determina el coeficiente de relleno del tornillo extrusor, de este modo dicho coeficiente se multiplica por la sección transversal de flujo, obteniéndose así el área de relleno:

$$A_{relleno} = \lambda * \frac{\pi}{4} * D^2 \tag{34}$$

El tiempo total de la máquina es la suma entre el tiempo de mezclado y el tiempo de extrusión.

$$t_{tot} = t_{mezclado} + t_{extrusión} \tag{35}$$

CAPÍTULO 3
DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

A partir de las fórmulas del Capítulo 2, se realizará el diseño de los elementos de la máquina mezcladora y amasadora, necesarios para su funcionamiento. Se determinará por tanto el diámetro mínimo del eje de mezclado, de los agitadores y del eje de extrusión, además se determinará el espesor mínimo del recipiente y la selección del dado extrusor, rodamiento y motor necesarios para accionar a la máquina.

Como ya descrito en el anterior capítulo, el material a usar para los ejes, paletas, y recipiente es el acero inoxidable AISI 304, el cual tiene como propiedades [34]:

- Resistencia a la tracción o esfuerzo último, S_{ut} =54 kg/mm^2 = 530 MPa
- Límite de fluencia, S_y=21 kg/mm^2 = 206 MPa
- Densidad del acero AISI 304, ρ_{AISI_304} = 7900 kg/m^3

La densidad de la masa de la pasta se determinó mediante un experimento (ver anexo 7), dando como resultado:

$$\rho_{pasta} = 570\ Kg/m3$$

La producción horaria de la máquina debe ser de 12 kg/h. Con este dato, mediante una comparación con otras máquinas industriales existentes, se puede interpolar un valor de la capacidad máxima de la máquina.

Los equipos comparados fueron, 2 máquinas de marca Monferrina, de producción 8-10 Kg/h y 15-18 Kg/h, con una capacidad de 3 Kg y 6 Kg, respectivamente [35].

Mediante la interpolación, resulta que el valor de la capacidad a 12 Kg/h es de 4,2 Kg.

El volumen resultante de la operación es:

$$V = \frac{Capacidad}{\rho_{pasta}} = \frac{4{,}2\ [Kg]}{570\ [Kg/m^3]} = 7{,}37 \cdot 10^{-3}\ [m^3]$$

Se aproxima a un valor entero, el cual resultará ser, el volumen máximo de la masa de la pasta. $V_1 = 8 \cdot 10^{-3}\ [m^3] = 8\ litros$

Con este valor se determina la capacidad máxima que tendrá la máquina:

$$Capacidad = V_1 \cdot \rho_{pasta} = 570 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] \cdot 8 \cdot 10^{-3} \, [m^3] = 4{,}56 \, [Kg]$$

Se denomina como "parada" al entero proceso de mezclado y extrusión de la masa de pasta, el cual se llevará a cabo en:

$$1 \, Parada = \frac{Capacidad}{Producción \, horaria} = \frac{4{,}56 \, [Kg]}{12 \, [Kg/h]} = 0{,}38 \, h = 22{,}8 \, min$$

3.1. Diseño de ejes bajo cargas estáticas

Utilizando las fórmulas del capítulo 2, se diseñará al agitador, al eje mezclador y extrusor.

3.1.1. Diseño del agitador

La presión de la pasta, al momento de mezclar se puede calcular mediante la ecuación (1):

$$p_1 = 570 \left[\frac{Kg}{m^3}\right] \cdot 9{,}81 \left[\frac{m}{s^2}\right] \cdot 0{,}1[m] = 559{,}19 \, [Pa]$$

Utilizando la ecuación (2), se determina el área donde actúa la presión.

$$A_1 = \frac{8000 \, [cm^3]}{10 \, [cm]} = 800 \, [cm^2] = 0{,}08 \, [m^2]$$

Por tanto la fuerza que ejerce la masa es:

$$F = p_1 * A_1 = 559{,}19 \, [Pa] * 0{,}1 \, [m^2] = 44{,}73 \, [N]$$

El momento máximo del agitador se calcula, según la ecuación (3).

$$M_{máx} = 44{,}73 \, [N] * 0{,}05[m] = 2{,}237 \, [Nm]$$

Por tanto el diámetro mínimo del agitador según la ecuación (4), será:

$$d_{ag} = \sqrt[3]{\frac{32 * 2{,}237 \, [Nm]}{\pi * 82{,}4 \, \cdot 10^6 \, [Pa]}} = 0{,}0065 \, [m] \cong 6{,}5 \, [mm]$$

El agitador, de forma cilíndrica, tendrá un diámetro calculado $d_{ag} = 6{,}5\ [mm]$. Además el agitador se dividirá en dos partes, la primera, será la parte inferior, que será perpendicular al eje mezclador y tendrá una longitud $L_1 = 60\ [mm]$, mientras que la parte superior estará inclinado en 45°, con respecto a eje mezclador, y tendrá una longitud de $L_2 = 40\ [mm]$.

Se determina el centro de gravedad, el mismo que deberá estar dentro de la geometría del agitador, caso contrario se tendrá que modificar las medidas. El centro de gravedad calculado tiene como coordenadas: $(-8{,}8\ ;\ 42{,}1)\ [mm]$ (ver Figura 21).

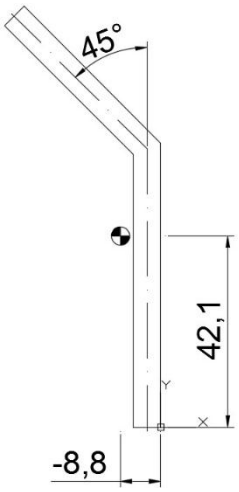


Figura 21. Esquema del centro de gravedad del agitador. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

Por tanto se debe modificar las medidas, para que el centro de gravedad esté dentro de la geometría del agitador. De este modo se garantiza que, la fuerza del mezclado está aplicado sobre el agitador.

Para que el centro de gravedad, pueda estar dentro de la geometría, el agitador deberá tener como medidas (ver anexo 8):

$$d_{ag} = 7\ [mm]$$
$$L_1 = 70\ [mm]$$
$$L_2 = 30\ [mm]$$

El centro de gravedad por tanto tendrá como coordenadas: $\bar{X} = -6{,}9\ [mm]$; $\bar{Y} = 50{,}1\ [mm]$

Con el aumento del diámetro, del agitador, se obtiene un incremento en el factor de seguridad a 4,7. Pero se asegura que, la fuerza del mezclado está aplicado sobre el agitador.

Se necesita determinar el peso de los agitadores, mediante las ecuaciones (5), (6)
El volumen del agitador es de:

$$\bar{V}_{agitador} = \frac{\pi}{4} * 0{,}007^2 * 0{,}1 + 3{,}6 \cdot 10^{-6} = 4{,}21 \cdot 10^{-6}\ [m^3]$$

El peso del agitador tendrá un valor de:

$$W_{ag} = 4{,}21 \cdot 10^{-6}\ [m^3] * 7900\ \left[\frac{Kg}{m^3}\right] * 9{,}81\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$\boldsymbol{W_{ag} = 0{,}33\ [N]}$$

3.1.2. Diseño del eje mezclador

3.1.2.1. Primera aproximación

Inicialmente para hacer girar al eje de mezclado se necesita una potencia de ½ hp equivalente a aproximadamente 375 [W], sabiendo que la velocidad máxima es de 60 rpm, se determina, mediante la ecuación (7), el torque que pueda generar el eje de mezclado.

$$T_1 = \frac{375\ [W]}{60\ \left[\frac{rev}{min}\right]} * \frac{30}{\pi} = 59{,}7\ [Nm]$$

Se calcula mediante la ecuación (8) el diámetro del eje mezclador, considerando un factor de seguridad de 2,5.

$$[\tau] = \frac{Sy}{2{,}5} = 0{,}4 * 206\ [MPa] = 82{,}4\ MPa$$

Por tanto el diámetro d_1 resulta:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 * 59{,}7\ [Nm]}{\pi * 82{,}4\ \cdot 10^6\ [Pa]}} = 0{,}0155\ [m] = 15{,}5\ [mm]$$

Se establece que la longitud del eje es L_1 = 25 [cm]

Entonces el volumen del eje resultará:

$$\bar{V}_{eje.mezclador} = \frac{\pi}{4} * {d_1}^2 * l_1 = \frac{\pi}{4} * 0{,}0155^2 * 0{,}25 = 4{,}72 \cdot 10^{-5}\ [m^3]$$

Multiplicando el volumen del eje del mezclador por la densidad del acero inoxidable AISI 304, y por la aceleración gravitacional se tiene el peso del mismo:

$$W_1 = \bar{V}_{eje.mezclador} * \rho_{AISI.304} * 9{,}81 = 4{,}72 \cdot 10^{-5}\ [m^3] * 7900\ \left[\frac{Kg}{m^3}\right] * 9{,}81\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$\boldsymbol{W_1 = 3{,}66\ [N]}$$

3.1.2.2. Segunda Aproximación

Se realiza el DCL del eje mezclador y se colocan todas las fuerzas y reacciones conocidas, como se ilustra en la Figura 22:

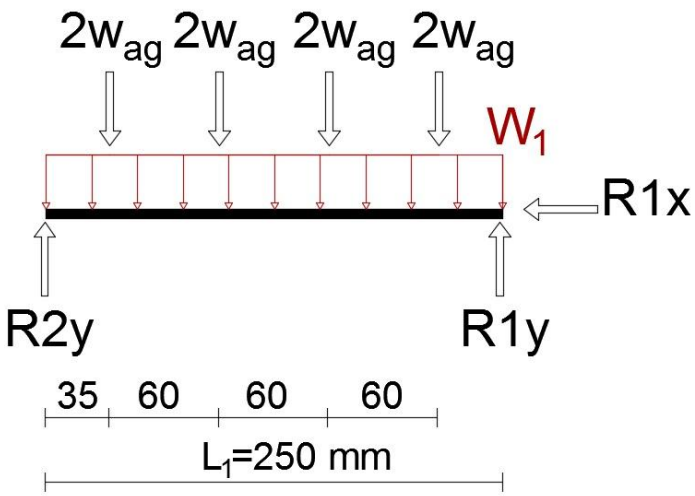


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre del eje mezclador. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

Realizando sumatoria de fuerzas y momentos, se determinan las reacciones en 1 y 2.

$$R_{1y} = 3{,}15\ [N]$$

$$R_{2y} = 3{,}15\ [N]$$

$$R_{1X} = 0\ [N]$$

A partir de las reacciones, se realiza el diagrama de corte y momentos del eje mezclador, ver Figura 23.

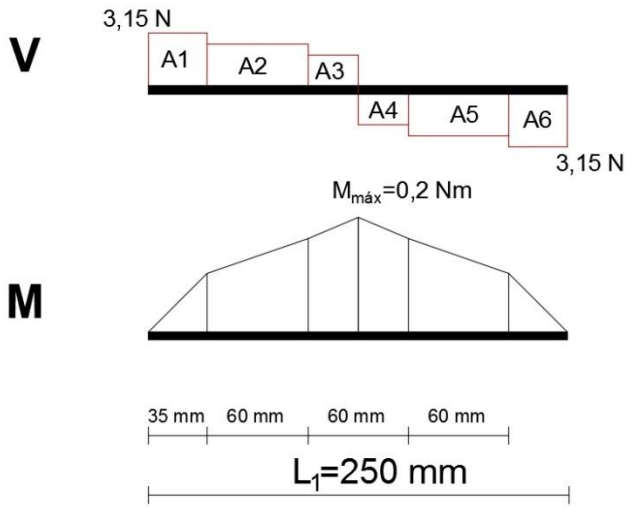


Figura 23. Diagrama de corte y momento del eje mezclador. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

Se determina así el momento máximo que soporta el eje:

$$M_{máx} = 0{,}2\ [Nm]$$

A continuación se calcula el par de torsión, que necesitan los agitadores, a partir de la fuerza que ejerce la masa ya calculada.

$$T = F * distancia = F * (\bar{y} + \frac{d_1}{2})$$

$$T = 44{,}74\ [N] * (0{,}0436 + 0{,}008)[m] = 2{,}31\ [Nm]$$

$$T_{tot} = N°\ agitadores * T = 8 * 2{,}31\ [Nm]$$

$$T_{tot} = 18{,}48\ [Nm]$$

Con estos datos, se procede a calcular el diámetro mínimo del eje, considerando que el mismo estará sometido a flexión y torsión, por lo que se calculará el diámetro mediante el diseño combinado de ambos, según la ecuación (9).

$$d = 0{,}0126\ [m] = 12{,}6\ [mm]$$

Se aproxima a un diámetro de $\boldsymbol{d = 13\ [mm]}$, de este modo se tendrá un $\boldsymbol{Fs = 2,75}$.

3.1.3. Diseño del extrusor

Mediante un experimento (ver anexo 9), se determina un estimado del torque necesario para hacer girar un tornillo sin fin o eje extrusor, con masa de pasta. El torque es de aproximadamente $T_2 = 4\ [Nm]$

El tornillo extrusor, debe ser de paso variable, puesto que tiene una parte destinada a la alimentación, es decir el material ingresa al tornillo, y debe tener el espacio suficiente para que este pueda agrupar la mayor cantidad de masa de pasta, mientras que la otra parte, denominada de compresión/extrusión, debe compactar el material permitiendo así que este se pueda extruir al pasar por el dado de extrusión.

Mediante el análisis de un eje de extrusión manual (ver anexo 10), se determina el ángulo de avance, de la zona de alimentación y de la zona de extrusión, utilizando la siguiente formula [36]:

$$\tan\lambda = \frac{Avance}{\pi * D_e} = \frac{l}{\pi * D_e} \qquad (36)$$

El ángulo de avance de la alimentación y extrusión resulta por tanto de $\lambda_a = 18°$ y $\lambda_e = 15°$, respectivamente.

Se establece que el diámetro exterior de las hélices del eje extrusor será de: $D_e = 50\ mm$, esto debido a que el dado extrusor, según el fabricante, tiene un diámetro externo de $D_{ext.dado} = 59\ mm$, y un diámetro interno de sujeción de $D_{int.dado} = 51\ mm$. Por lo tanto, utilizando la ecuación (36), se determina que los pasos de alimentación y extrusión serán de: $l_{alim} = 51\ mm$ y $l_{extr} = 42\ mm$.

Además se establece que la longitud del eje extrusor será de $L_2 = 280\ mm$, esto debido a que debe canalizar el material hacia el dado extrusor.

Para realizar el análisis estático, se considera al eje extrusor una pieza única con diámetro 50 mm; de este modo se calcula el peso máximo que tendrá.

$$W_2 = \bar{V}_2 * \rho_{AISI.304} * g = \frac{\pi}{4} {D_e}^2 L_e * \rho_{AISI.304} * g$$

$$W_2 = \frac{\pi}{4}(0{,}05\ )^2[m^2] * 0{,}28\ [m] * 7900\left[\frac{Kg}{m^3}\right] * 9{,}81\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$\boldsymbol{W_2 = 42{,}61\ [N]}$$

3.1.3.1. Primera aproximación

Para tener una referencia en los cálculos a continuación se determina el diámetro del eje extrusor d_2, conociendo el torque T_2, según la ecuación (2).

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{16 * 4\ [Nm]}{\pi * 82{,}4\ \cdot 10^6\ [Pa]}} = 0{,}0063\ [m] = 6{,}3\ [mm]$$

El eje extrusor, debe además soportar una fuerza de compresión axial, de la pasta, la cual se puede determinar conociendo la carga de rotura de la pasta cruda, que es de $\tau_r = 0{,}283\ [MPa]$ [37].

El área de compresión se calcula mediante la ecuación (10)

$$A_c = \frac{\pi}{4} * (0{,}05^2 - 0{,}0063^2)\ [m^2]$$

$$A_c = 1{,}93 \cdot 10^{-3} [m^2]$$

La fuerza de compresión axial que debe soportar el extrusor, según la ecuación (11):

$$F_{c.i} = 0{,}28\ [MPa] * 1{,}93 \cdot 10^{-3} [m^2]$$

$$F_{c.i} = 540{,}4\ [N]$$

Para determinar el peso del material que transporta el extrusor, se calcula el volumen de relleno máximo, según la ecuación (12):

$$\bar{V}_{relleno.máx.} = \frac{\pi}{4}(0{,}05^2 - 0{,}0063^2) * 0{,}051\ [m^3]$$

$$\bar{V}_{relleno.máx} = 9{,}85 \cdot 10^{-5}\ [m^3]$$

De este modo el peso de relleno resulta, según ecuación (13):

$$W_{relleno.i} = 9{,}85 \cdot 10^{-5}\ [m^3] * 570\ \left[\frac{Kg}{m^3}\right] * 9{,}81\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$W_{relleno.i} = 0{,}55\ [N]$$

La distancia desde el eje neutro hasta el punto donde concentran las fuerzas en el extrusor (ver Figura 24).

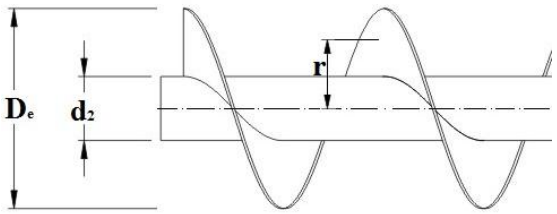


Figura 24. Esquema de la distancia "*r*" de concentración de fuerzas de extrusión. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

Se puede aproximar a:

$$r = \frac{D_e + d_2}{4} = \frac{(50 + 6)\ [mm]}{4} = 14\ [mm]$$

La fuerza necesaria para transportar la masa de la pasta se calcula multiplicando el peso de relleno por el coeficiente de fricción, determinado por ensayo (ver anexo 11), según la ecuación (14)

$$F_{transp} = 0{,}55\ [N] * 0{,}934 = 0{,}514\ [N]$$

3.1.3.2. Segunda Aproximación

Se realiza el DCL del eje extrusor, y se colocan todas las fuerzas, momentos y reacciones conocidas, como se ilustra en la Figura 25:

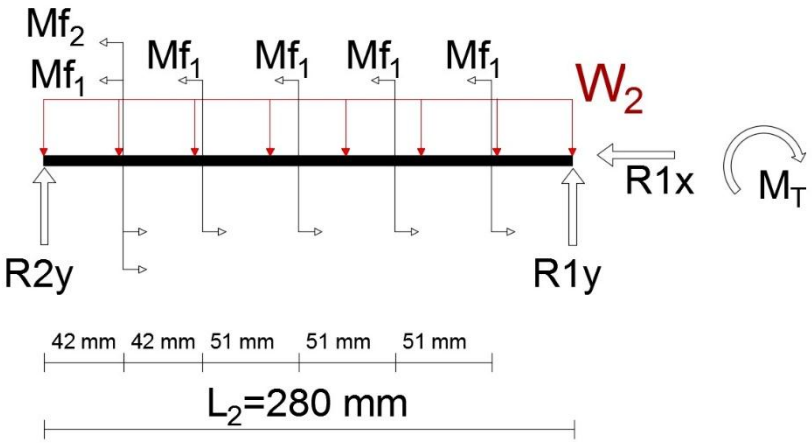


Figura 25. Diagrama de cuerpo libre del eje extrusor. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

En este caso se tiene:

Una carga distribuida $w = \frac{W_2}{L_{ex}} = \frac{42{,}61\ [N]}{0{,}28\ [m]} = 152{,}18\ \left[\frac{N}{m}\right]$

Momento flector 1, debido a la masa transportada por las hélices del extrusor,

$$M_{f1} = F_{transp} * r = 0{,}514\ [N] * 0{,}014\ [m] = 7{,}2\ \cdot 10^{-3}\ [Nm]$$

Momento flector 2, debido a la fuerza de compresión en la última hélice del extrusor,

$$M_{f2} = F_{c.i} * r = 540{,}4\ [N] * 0{,}014\ [m] = 7{,}57\ [Nm]$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos:

$$\sum F_x = 0 \ \rightarrow\ R_{1x} = (-5 * 0{,}514 - 540{,}4)\ [N] \ \rightarrow\ \boldsymbol{R_{1x} = 542{,}97\ [N]}$$

$$\sum F_y = 0 \ \rightarrow\ R_{2y} + R_{1y} - w \cdot L_e = 0$$

$$\sum \overleftarrow{M}_2 = 0 \ \rightarrow\ R_{1y} = \frac{\frac{W_2 * L_e}{2} - 5 * M_{f1} - M_{f2}}{L_e}$$

$$\boldsymbol{R_{1y} = -5{,}86\ [N]}$$

$$\boldsymbol{R_{2y} = 48{,}47\ [N]}$$

Una vez calculadas las reacciones, se realiza los diagramas de corte y momento, como se observa en la Figura 26.

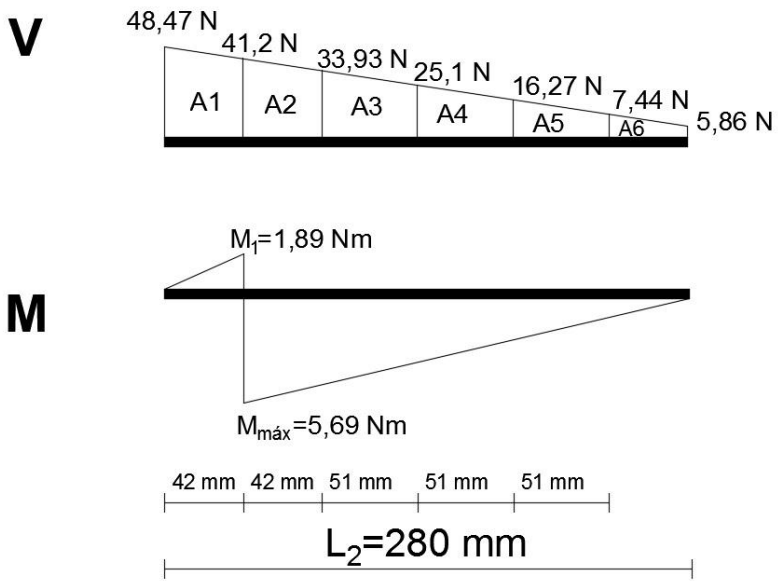


Figura 26. Diagrama de corte y momento del eje extrusor. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

El momento máximo se produce en la hélice de compresión y equivale a:

$$M_{máx} = M_2 = 5{,}68\ [Nm]$$

Se determina el diámetro mínimo del eje del extrusor, el cual estará sometido a flexión y torsión, por lo que se calculará el diámetro mediante el diseño combinado de ambos, según la ecuación (9).

$$82{,}4 \cdot 10^6\ MPa = \sqrt{\left(\frac{32\ (5{,}68\ Nm)}{\pi * {d_{extr}}^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16\ (4\ Nm)}{\pi * {d_{extr}}^3}\right)^2}$$

Por lo tanto, el diámetro mínimo del eje extrusor diseñado a flexión y torsión, considerando un Fs=2.5, es:

$$d_{extr} = 0{,}094\ [m] = 9{,}4\ [mm]$$

Se aproxima a un diámetro de $\boldsymbol{d_{extr} = 10\ [mm]}$, de este modo se tendrá un $\boldsymbol{Fs = 3}$.

3.2. Diseño a fatiga

Como se mencionó en el capítulo 2, el propósito de este diseño es establecer factores de seguridad adecuados, para los diámetros de los ejes de mezclado y extrusión, que estarán sujetos a cargas variables.

3.2.1. Eje de mezclado

Se determinan los diferentes términos de la ecuación de Marín (15),

- **Factor de superficie $\mathbf{k_a}$**

Los coeficientes *a* y *b* se determinan mediante el anexo A1.1; utilizando la ecuación (16), se tiene:

$$K_a = aS_{ut}^b = 4{,}51 * 530^{-0{,}265}$$

$$K_a = 0{,}862$$

- **Factor de tamaño $\mathbf{k_b}$**

Se utiliza el diámetro determinado, mediante el diseño estático, d=13 mm; utilizando la ecuación (17), se tiene:

$$\mathrm{k_b} = \left(\frac{d}{7{,}62}\right)^{-0{,}107} = \left(\frac{13}{7{,}62}\right)^{-0{,}107}$$

$$\mathrm{k_b} = 0{,}944$$

- **Factor de carga $\mathbf{k_c}$**

Como en el eje de mezclado la torsión es la predominante:

$$\mathrm{k_c} = 0{,}577$$

- **Factor de temperatura $\mathbf{k_d}$**

Según el anexo A1.2, el factor es igual:

$$\mathrm{k_d} = 1$$

- **Factor de confiabilidad $\mathbf{k_e}$**

Como ya mencionado en el capítulo 2, este factor resulta:

$$k_e = 1$$

- **Factor de concentración de esfuerzos a fatiga k_f**

Como se estableció en el capítulo 2, este factor se multiplica directamente a los esfuerzos calculados del par de torsión, momento flector y fuerza axial, según corresponda.

Mediante el anexo 2, el factor q resulta:

$$q = 0{,}7$$

Mediante los anexos 3.1 y 3.2, el factor k_t resulta, para los diferentes tipos de esfuerzo:

$$(k_t)_{flexión} = 1{,}85$$
$$(k_t)_{torsión} = 2{,}85$$

Por lo tanto según la ecuación (19), el factor k_f, resulta:

$$k_{f\,flexión} = 1{,}60$$
$$k_{f\,torsión} = 2{,}30$$

- **Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria S'_e**

Se conoce que el esfuerzo último del acero inoxidable AISI 304, es de S_{ut}=530 MPa, por tanto, según la ecuación (20):

$$S'_e = 0{,}5S_{ut} = 0{,}5(530)\ [MPa]$$
$$S'_e = 265\ [MPa]$$

Utilizando la ecuación (27), se determina el límite de resistencia a la fatiga S_e.

$$S_e = (265\ MPa)(0{,}862)(0{,}944)(0{,}577)(1)(1)$$

$$S_e = 124{,}42\ [MPa]$$

Se procede con la elaboración del Diagrama de Goodman, (anexo 5) para determinar el valor del factor de seguridad, con relación a los datos calculados en el diseño estático. De este modo, se puede comprobar si el diseño estático es suficiente o se tiene que modificar el diámetro del eje, para obtener un factor de seguridad aceptable en el diseño por fatiga.

Utilizando las ecuaciones (24) (25) (26), se calcula los esfuerzos:

$$\tau_M = \frac{16\ \cdot 18{,}48\ [Nm]}{\pi \cdot (0{,}013)^3\ [m^2]} \cdot (2{,}30)$$

$$\tau_M = 98{,}53\ [MPa]$$

$$\sigma_a = \frac{32\ 0{,}315\ [Nm]}{\pi \cdot (0{,}013)^3} \cdot (1{,}6)$$

$$\sigma_a = 2{,}34\ [MPa]$$

Los esfuerzos de tensión/compresión y de corte se pueden despreciar, puesto que son valores muy pequeños o nulos.

Se determina los esfuerzos equivalentes, según las ecuaciones (22) y (23):

$$\sigma_{eM} = \tau_M = 98{,}53\ [MPa]$$
$$\sigma_{ea} = \sigma_a = 2{,}34\ [MPa]$$

En el diagrama de Goodman (anexo 5), se identifican los puntos C y C', correspondientes al límite de fluencia del material (S_y=205 MPa); el punto D, corresponde al esfuerzo ultimo del material (S_{ut}=530 MPa); mientras que el punto E, corresponde al límite de resistencia a la fatiga para el eje de mezclado (S_e=124,42 MPa).

Para determinar el factor de seguridad se debe medir en el diagrama las rectas OA y OB, con la ecuación (21) se tiene:

$$Fs = \frac{201{,}28}{98{,}56} = 2{,}04$$

Para tener una mayor fiabilidad, se incrementa el factor de seguridad a Fs=2,5.
Al realizar dicho incremento se determina una nueva recta $\overline{OA'}$ y se localiza el nuevo esfuerzo equivalente medio sobre el eje de las abscisas que equivale a:

$$\sigma_{eM}{}' = 80{,}49\ [MPa]$$

Como $\sigma'_{eM} = \tau_M$, se determina el nuevo diámetro del eje de mezclado

$$d = \sqrt[3]{\frac{16\ \cdot 18{,}48\ [Nm]}{\pi \cdot 80{,}49 \cdot 10^6 [MPa]} \cdot (2{,}30)}$$

$$\boldsymbol{d_{eje.mezclado} = 0{,}014\ [m] = 14\ [mm]}$$

3.2.2. Eje de extrusión

Se determinan los diferentes términos de la ecuación de Marín (15),

- **Factor de superficie $\mathbf{k_a}$**

Los coeficientes *a* y *b* se determinan mediante el anexo A1.1; utilizando la ecuación (16), se tiene:

$$K_a = aS_{ut}^b = 4{,}51 * 530^{-0{,}265}$$

$$K_a = 0{,}862$$

- **Factor de tamaño $\mathbf{k_b}$**

Se utiliza el diámetro determinado, mediante el diseño estático, d=10 mm; utilizando la ecuación (17), se tiene:

$$\mathrm{k_b} = \left(\frac{d}{7{,}62}\right)^{-0{,}107} = \left(\frac{10}{7{,}62}\right)^{-0{,}107}$$

$$\mathrm{k_b} = 0{,}971$$

- **Factor de carga $\mathbf{k_c}$**

En el eje de extrusión existen esfuerzos de torsión y flexión, pero el más crítico es a torsión, por lo que:

$$\mathrm{k_c} = 0{,}577$$

- **Factor de temperatura $\mathbf{k_d}$**

Según el anexo A1.2, el factor es igual:

$$\mathrm{k_d} = 1$$

- **Factor de confiabilidad $\mathbf{k_e}$**

Como ya mencionado en la teoría del capítulo 2, este factor corresponde a:

$$k_e = 1$$

- **Factor de concentración de esfuerzos a fatiga k_f**

Como se estableció en el capítulo 2, este factor se multiplica directamente a los esfuerzos calculados del par de torsión, momento flector y fuerza axial, según corresponda.

Mediante el anexo 2, el factor q resulta:

$$q = 0{,}7$$

Mediante los anexos 4.1 y 4.2, el factor k_t resulta, para los diferentes tipos de esfuerzo:

$$(k_t)_{flexión} = 3$$
$$(k_t)_{tensión} = 3$$
$$(k_t)_{torsión} = 2{,}5$$

Por lo tanto según la ecuación (19), el factor k_f, resulta:

$$k_{f\,flexión} = 2{,}4$$
$$k_{f\,tensión} = 2{,}4$$
$$k_{f\,torsión} = 2{,}05$$

- **Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria** S'_e

Se conoce que el esfuerzo último del acero inoxidable AISI 304, es de S_{ut}=530 MPa, por tanto, según la ecuación (20):

$$S'_e = 0{,}5S_{ut} = 0{,}5(530)\ MPa$$

$$S'_e = 265\ MPa$$

Utilizando la ecuación (27), se determina el límite de resistencia a la fatiga S_e.

$$S_e = (265\ MPa)(0{,}862)(0{,}971)(0{,}577)(1)$$

$$S_e = 127{,}98\ [MPa]$$

Se procede con la elaboración del Diagrama de Goodman, (anexo 6) para determinar el valor del factor de seguridad, con relación a los datos calculados en el diseño estático. De este modo, se puede comprobar si el diseño estático es suficiente o se tiene que modificar el diámetro del eje, para obtener un factor de seguridad aceptable en el diseño por fatiga.

Utilizando las ecuaciones (24) (25) (26), se calcula los esfuerzos:

$$\tau_M = \frac{16\ \cdot 4\ [Nm]}{\pi \cdot (0{,}01)^3\ [m^3]} \cdot (2{,}05)$$

$$\tau_M = 41{,}76\ [MPa]$$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 5{,}68\ [Nm]}{\pi \cdot (0{,}01)^3\ [m^3]} \cdot (2{,}4)$$

$$\sigma_a = 138{,}85\ [MPa]$$

$$\sigma_M = \frac{542{,}97\ [N]}{\frac{\pi}{4} \cdot (0{,}01)^2 [m^2]} \cdot (2{,}4)$$

$$\sigma_M = 16{,}59\ [MPa]$$

El esfuerzo de corte se puede despreciar, puesto que tiene un valor muy pequeño o nulo.

Se determina los esfuerzos equivalentes, según las ecuaciones (22) y (23):

$$\sigma_{eM} = \frac{16{,}59}{2} + \sqrt{41{,}76^2 + \left(\frac{16{,}59}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_{eM} = 50{,}87\ [MPa]$$

$$\sigma_{ea} = \sigma_a = 138{,}85\ [MPa]$$

Del anexo 6 se tiene que, los puntos C y C', corresponden al límite de fluencia del material (S_y=206 MPa); el punto D, corresponde al esfuerzo ultimo del material (S_{ut}=530 MPa); mientras que el punto E, corresponde al límite de resistencia a la fatiga para el eje extrusor (S_e=127,98 MPa).

Para determinar el factor de seguridad se debe medir en el diagrama las rectas OA y OB, con la ecuación (21) se tiene:

$$Fs = \frac{124{,}75}{147{,}88} = 0{,}84$$

Como se puede observar en la gráfica del anexo 6 se debe aumentar el diámetro del eje extrusor hasta un factor de seguridad de *Fs=2,5*.

Al realizar dicho incremento se determina una nueva recta $\overline{OA'}$, y se localiza el nuevo esfuerzo equivalente alterno sobre el eje de las ordenadas que equivale a:

$$\sigma_{ea}{}' = 49{,}9\ [MPa]$$

Como $\sigma_{ea} = \sigma_a$, se determina el nuevo diámetro del eje de mezclado

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 5{,}68\ [Nm]}{\pi \cdot 49{,}9 \cdot 10^6\ [MPa]} \cdot (2{,}4)}$$

$$\boldsymbol{d_{eje.extrusor} = 0{,}014\ [m] = 14\ [mm]}$$

3.3. Consideraciones de diseño para el diámetro del eje extrusor

La máquina mezcladora y amasadora, debe cumplir con el objetivo principal de elaborar pasta a una razón de 12 Kg/h. Por tanto el tiempo total de la máquina es la suma entre el tiempo de mezclado y el tiempo de extrusión.

Para garantizar el flujo másico de 12 Kg/h, se establece que la velocidad de giro del eje extrusor debe ser de n = 20 r.p.m., además el diámetro interno del eje se incrementa a 16 mm.

Por tanto la velocidad de avance, según la ecuación (33) será:

$$v = 0{,}014\ [m/s]$$

Mientras que con la ecuación (34), el área de relleno resultará:

$$A_{relleno} = 0{,}32 * \frac{\pi}{4}(0{,}05^2 - 0{,}016^2)\ [m^2] = 5{,}64 \cdot 10^{-4}\ [m^2]$$

Por tanto el flujo volumétrico, según la ecuación (32) será:

$$Q = 7{,}896\ \cdot 10^{-6}\ [{}^{m^3}/_{s}]$$

El volumen total que deberá extruir la máquina es de 21 litros, en 2 paradas, puesto que cada parada la capacidad de llenado es de 6 Kg.
El tiempo total de extrusión será:

$$t_{extrusión} = \frac{0{,}021\ [m^3]}{7{,}896\ \cdot 10^{-6}\ [{}^{m^3}/_{s}]} = 2659{,}57\ [s] = 44 \min 20\ s$$

El tiempo de mezclado varía entre los 5 a 10 min, por lo que se establece el valor medio de 7,5 min por parada, por lo tanto el tiempo de mezclado total resultará:

$$t_{mezclado} = 15\ min$$

El tiempo total según la ecuación (35) resultará

$$t_{tot} = 59 \min 20\ s$$

Por lo tanto para elaborar 12 Kg de pasta alimenticia, la máquina mezcladora y amasadora se demora 59 minutos con 20 segundos, de este modo se cumple con el objetivo planteado.

3.4. Diseño del recipiente

Para el diseño del recipiente, se utiliza la ecuación (28), cabe resaltar que el recipiente no estará sometido a presiones elevadas, por lo que este diseño será referencial.

El esfuerzo circunferencial, depende del material utilizado, siendo este equivalente al límite de fluencia del material, adicionalmente se aplica un factor de seguridad de 2,5.

La presión en el extrusor equivale a la carga de rotura de *p=0,28 [MPa]*

El espesor resultará por tanto:

$$t = \frac{0{,}28\ [MPa] \cdot 0{,}22\ [m]}{2 \cdot \frac{206\ [MPa]}{2{,}5}} = 0{,}0004\ [m]$$

$$t = 0{,}4\ [mm]$$

Como el recipiente tendrá partes soldadas, se recomienda incrementar el espesor a *t=1 mm.*

3.5. Selección del motorreductor

Para la selección del motorreductor, se requieren de datos preliminares tales como

- Horas/día de funcionamiento: **8 [h/ día]**
- Grado de carga: Operación uniforme, **tipo A** (son equipos para transportadores de tornillo ligero, ventiladores, correas de montaje, cintas transportadoras ligeras, agitadores pequeños, elevadores entre otras [38].
- Frecuencia de arranque, es el período durante el cual el ciclo de conmutación, encendido y apagado, se lleva a cabo [39]. El diagrama 1 (anexo A12.1) muestra el factor de servicio mínimo necesario $f_{B.mín}$ en función del tiempo de funcionamiento diario del accionamiento, la

frecuencia de arranque Z, y el grado de carga A, B o C de la aplicación [38].

Z=1200 [1/H]

El factor de operación o servicio f_B es propio del reductor y considera con precisión estas condiciones y otros efectos que se puede tener sobre el reductor. [38]

3.5.1. Selección del motor para el eje de mezclado

El procedimiento para la selección del motorreductor es el siguiente:

- Determinar el factor de servicio o factor de carga, f_B, según el anexo A12.1, la cual está en función del número de horas de funcionamiento al día y al tipo de carga. Por lo tanto, se obtiene que el factor de operación mínimo F_{Bmin} es [38]:

$$f_{Bmin}=1,12$$

- Se determina el rendimiento dinámico (η_d), que es la relación entre la potencia de salida P2 y la potencia de entrada P1 [40]. Dicha relación se puede seleccionar en base al tipo de motor y a cuantas reducciones este tiene disponible, como se puede determinar en el anexo A12.2.

- Se calcula la potencia de entrada (P_{r1}), conociendo: el par torsor de salida, M_{r2}=18,5 Nm, a n_{2max}= 60 r.p.m., y el rendimiento dinámico η_d=0,95 [38].

$$P_{r1} = \frac{M_{r2} \cdot n_2}{9550 \cdot \eta_d} = \frac{18,5\ [Nm] \cdot 60\ [rpm]}{9550 \cdot 0.95} = 0,122\ [kW]$$

- Con la potencia de entrada P_{r1}=0,122 [kW], se determina una potencia normalizada (P1) en las tablas del catálogo de NORD [38], (ver anexo A13.1) y esta debe cumplir con la condición: $P1 \geq P_{r1}$.

Del catálogo de NORD, se selecciona un motor con potencia P1=0,18 kW y con una velocidad de 60 r.p.m., lo que proporciona los siguientes datos:

- M_2=28,7 Nm,
- f_B=2,3
- i_{ges}=27,16
- masa=10 kg

Por lo tanto, el equipo seleccionado, para el eje del mezclador, es un motorreductor helicoidal 2 trenes: **SK 92072.1-63 L/4** (ver anexo A13.2)

3.5.2. Selección del motor para el eje extrusor

Para calcular la potencia del eje extrusor, se debe considerar otros factores adicionales a los ya vistos anteriormente. La potencia que se consume en el proceso de extrusión, haciendo abstracción de transmisión mecánica, corresponde a los siguientes tipos de disipación de energía [41].

a.- Disipación por esfuerzo de corte viscoso producido en el tornillo.
b.- Energía para aumentar la presión del material.
c.- Disipación de energía por esfuerzo cortante producido en el flujo de fuga entre la superficie de la paleta y del barril.

El poder de consumo está dado por [41]:

$$P_c = \frac{(\pi ND)^2 L}{\sin^2 \lambda}\left[\eta \frac{W}{H}(\cos^2 \lambda + 4\sin^2 \lambda) + \eta \frac{e}{\delta}\right] + \frac{\pi NDtH}{2}\Delta P \cos \lambda$$

Donde:

N, es la velocidad de rotación del eje extrusor; $N = 20\ rpm$
D, el diámetro externo del extrusor; $D = 50\ mm$
L, es la longitud del extrusor; $L = 280\ mm$
η, es la viscosidad de la masa [41]; $\eta = 75\ Pa \cdot s$
W, es el ancho del canal; $W = 39\ mm$
H, es la altura del filete; $H = 18\ mm$
e, es el espesor del filete; $e = 1{,}5\ mm$
δ, es la holgura del husillo; $\delta = 1{,}5\ mm$
t, el paso del extrusor; $t = 42\ mm$
ΔP, gradiente de presión estática, o presión ejercida sobre el dado;$\Delta P = 0{,}28\ MPa$
λ, ángulo de filete o ángulo de avance $\lambda = 15°$

Por tanto, se tendrá:

$$P_c = 155{,}85\ W = 0{,}156\ kW = 0{,}21\ HP$$

Para determinar la potencia real en el eje extrusor, se debe considerar las pérdidas de potencia causadas por las instalaciones eléctricas y las pérdidas debidas al motor [41].

- Pérdidas por instalaciones eléctricas:

$$Z_e = 0{,}015\ P_c$$
$$Z_e = 0{,}015\ (155{,}85\ W)$$
$$Z_e = 2{,}34\ W$$

- Pérdidas por motores:

$$Z_m = 0{,}05\ P_c$$
$$Z_m = 0{,}05\ (155{,}85\ W)$$
$$Z_m = 7{,}79\ W$$

Por tanto la potencia real es [41]:

$$P_{real} = P_c + Z_e + Z_m$$
$$P_{real} = 155{,}85 + 2{,}34 + 7{,}79$$
$$P_{c.real} = 166\ [W] = 0{,}166\ [kW] = 0{,}22\ [HP]$$

Adicional a esto, se debe sumar la potencia que se necesita para rotar al eje con las fórmulas que se han visto previamente.

- Conociendo el par torsor de salida, M_{r2}=4,73 [Nm], a n_{2max}= 20 [r.p.m.], y según el anexo A12.2 se conoce el rendimiento dinámico η_d, lo cual permite calcular la potencia de entrada P_{r1}:

$$P_{r2} = \frac{M_{r2} \cdot n_2}{9550 \cdot \eta_d} = \frac{4{,}73\ [Nm] \cdot 20\ [rpm]}{9550 \cdot 0.95} = 0{,}01\ [kW]$$

Por lo tanto la potencia total necesaria para poder mover al eje del extrusor es la suma de la potencia P_{r2} y la $P_{c.real}$.

$$P_t = P_{r2} + P_{c.real} = 0{,}01\ [kW] + 0{,}166[kW] = 0{,}176\ [kW]$$

Del catálogo de NORD, ver anexo A14.1, se selecciona un motor con potencia P_1=0,18 kW, y con una velocidad de 23 r.p.m., lo que proporciona los siguientes datos:

- M_2=74 [Nm],
- f_B=1,00

- i_{ges}=70
- masa=12 kg

Por lo tanto, el equipo seleccionado, para el eje del extrusor es el motorreductor: **SK 92172.1 - 63 L/4** (ver anexo A14.2)

3.6. Selección del dado extrusor

En el capítulo 1 se mencionó que el dado extrusor puede fabricarse mediante procesos de arranque de viruta, pero es más sencillo seleccionar, por catálogo, el tipo de dado que se requiere.

Se utiliza el catálogo de Nicolai Trafile [42], el cual proporciona el dado requerido en base a la elección del molde deseado (ver anexo 20), además de las dimensiones del diámetro externo del tornillo extrusor (De=50 mm), la producción horaria de la máquina (12 Kg/h) y el material (bronce) para los elementos intercambiables de la extrusión.

3.7. Diseño de la cuña

Las dimensiones B y H de la cuña están normalizadas según la norma DIN 6885, por lo que dichas dimensiones se pueden observar en el anexo 21. De este modo se calcula la longitud de la cuña mediante las ecuaciones (29) y (30), para los dos ejes.

3.7.1. Eje de Mezclado

- **Por corte:**

$$L = \frac{4 * 18{,}5\ [Nm]}{0{,}014\ [m]\ \cdot 0{,}005\ [m] \cdot \frac{206\ [MPa]}{2{,}5}}$$

$$L = 0{,}013\ [m]$$

- **Por aplastamiento**

$$L = \frac{4 * 18{,}5\ [Nm]}{0{,}014\ [m]\ \cdot 0{,}005\ [m] \cdot \frac{206\ [MPa]}{2{,}5}}$$

$$L = 0{,}013\ [m]$$

Por tanto la longitud de la cuña resulta de 13 mm para el eje de mezclado.

3.7.2. Eje de Extrusión

- **Por corte**

$$L = \frac{4 \ * 4{,}73\ [Nm]}{0{,}014\ [m]\ \cdot 0{,}005\ [m] \cdot \frac{206\ [MPa]}{2{,}5}}$$

$$L = 0{,}003\ [m]$$

- **Por aplastamiento**

$$L = \frac{4 \ * 4{,}73\ [Nm]}{0{,}014\ [m]\ \cdot 0{,}005\ [m] \cdot \frac{206\ [MPa]}{2{,}5}}$$

$$L = 0{,}003\ [m]$$

Se considera utilizar también para este caso la longitud mayor, que es de 13 mm, para la cuña del eje extrusor.

3.8. Selección de rodamientos

El proceso de selección se lo realiza utilizando el método recomendado por el manual de la SKF en su página 64 [43].

Para ambos ejes se va a seleccionar un rodamiento rígido de bolas, y por necesidad de montaje se tomará una unidad de rodamiento de pestaña cuadrada como se observa en la Figura 27, tomando en cuenta parámetros como el espacio disponible, cargas, velocidad de funcionamiento, entre otros.

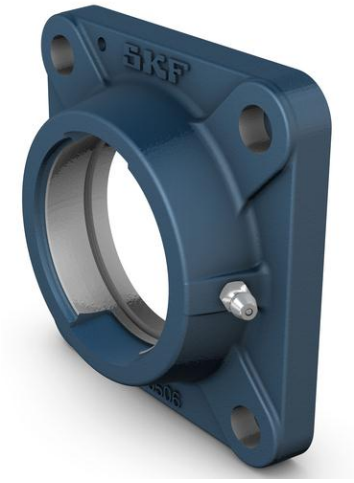


Figura 27. Unidad de rodamiento de pestaña cuadrada [43].

Con la tabla del manual SKF del anexo 15.1, se selecciona el valor de vida sugerido, de acuerdo al tipo de máquina. El valor obtenido resultante es de 25000 horas.

3.8.1. Selección del rodamiento para el eje extrusor

El eje extrusor tiene las siguientes cargas (ver Figura 28):

Figura 28. Esquema de las cargas aplicadas en los extremos del eje extrusor. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

El diámetro del eje calculado resulta de 16 mm, de modo que se selecciona un rodamiento con un diámetro interno normalizado que resulta ser menor, en este caso de 15 mm.

Con la geometría predefinida, se selecciona del Anexo 15.2, el rodamiento YAR 203/12-2F, el cual tiene las siguientes características:

- $C = 9560\ [N]$
- $Co = 4750\ [N]$
- $Pu = 200\ [N]$

- $D = 40\ [mm]$
- $d = 12\ [mm]$

Las variables adicionales son:

- $Fa = 542{,}97\ [N]$
- $Fr = -5{,}86\ [N]$
- $V = 1\ (\ por\ el\ giro\ del\ anillo\ interior)$

Se determina el valor de $\frac{|F_a|}{C_0} = \frac{542.97\ [N]}{4750\ [N]} = 0{,}114$ y también de $\left|\frac{F_a}{F_r}\right| = \frac{542{,}97\ [N]}{5{,}86\ [N]} = 92{,}657$.

Con estos valores, se escogen los coeficientes "X" e "Y" de la tabla del libro de Shigley, mostrada en el anexo 16, adicional se interpola dichos valores para obtener los siguientes datos:

- $X = 0{,}56$
- $Y = 1{,}44$
- $e = 0{,}30$

Se calcula la carga equivalente *P* sobre el rodamiento con la fórmula:

$$P = XF_r + YF_a$$

$$P = 0{,}56 * 5{,}86\ [N] + 1{,}44 * 542{,}97\ [N]$$

$$P = 785{,}16\ [N]$$

La vida estimada en millones de revoluciones viene dada por:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Con $p = 3$ para el caso de rodamientos de bolas se tiene:

$$L_{10} = \left(\frac{9560\ [N]}{785{,}16\ [N]}\right)^3 = 1805.11\ [revoluciones]$$

Mediante la siguiente fórmula se determina la vida estimada en horas de trabajo:

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60n}\right) L_{10}$$

Donde n es la velocidad de trabajo en r.p.m., del eje extrusor.

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60 * 20\ [rpm]}\right) 1805{,}11\ [rev] = 1'504'258{,}33\ [h]$$

La vida nominal ajustada viene dada por la expresión:

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10}$$

Donde el coeficiente a_1 es el coeficiente de fiabilidad del rodamiento, y se obtiene de la tabla del manual SKF, mostrado en el anexo A15.3.

Se considera un 90% de fiabilidad, de este modo se tiene que $a_1 = 1$.

Por otra parte el factor a_{23}, está dado por la calidad de la lubricación, para la cual se debe determinar la relación ν/ν_1.

Para ello, se determina el diámetro medio con la fórmula:

$$dm = \frac{D + d}{2} = \frac{40\ [mm] + 12\ [mm]}{2} = 26\ [mm]$$

Así usando el anexo 17, se determina el valor de la viscosidad nominal, a 20 rpm.

$$\nu_1 = 700\ [mm^2/s]$$

Mientras que utilizando el anexo 18, se obtiene el valor nominal de la viscosidad a una temperatura de 30°C, de lubricación del rodamiento ISO VG 100:

$$\nu = 180\ [mm^2/s]$$

De este modo la relación resultará:

$$\frac{\nu}{\nu_1} = 0.26$$

Usando el anexo 19, se determina el valor del coeficiente a_{23}

$$a_{23} = 0{,}15$$

Por lo que la vida nominal ajustada será:

$$L_{na} = 1 * 0{,}15 * 1504258{,}33\ [h]$$

$$L_{na} = 225638{,}75\ [h]$$

Cuyo valor es muy superior a las 25000 horas que es recomendado para este tipo de máquinas.

3.8.2. Selección del rodamiento para el eje mezclador

Para el eje de mezclado se tienen las siguientes cargas (ver Figura 29):

Figura 29. Esquema de las cargas aplicadas en el eje de mezclado. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

El diámetro del eje calculado resulta de 14 mm, de modo que se selecciona un rodamiento con un diámetro interno normalizado que resulta ser menor, en este caso de 12 mm.

Con la geometría predefinida, se selecciona, con el anexo A15.2, el rodamiento YAR 203/12-2F, el cual tiene las siguientes características:

- $C = 9560\ [N]$
- $Co = 4750\ [N]$
- $Pu = 200\ [N]$
- $D = 40\ [mm]$
- $d = 12\ [mm]$

Las variables adicionales son:

- $Fa = 0\ [N]$
- $Fr = 3{,}15\ [N]$
- $V = 1\ (\ por\ el\ giro\ del\ anillo\ interior)$

Se determina el valor de $\frac{|F_a|}{C_0} = \frac{0\ [N]}{4750\ [N]} = 0{,}114$ y también de $\left|\frac{F_a}{F_r}\right| = \frac{0\ [N]}{5{,}86\ [N]} = 0$.

Con estos valores, se escogen los coeficientes "X" e "Y" de la tabla del libro de Shigley, mostrada en el anexo 16, adicional se interpola dichos valores para obtener los siguientes datos:

- $X = 0{,}56$
- $Y = 2{,}3$
- $e = 0{,}19$

Se calcula la carga equivalente *P* sobre el rodamiento con la fórmula:

$$P = XF_r + YF_a$$

$$P = 0{,}56 * 3{,}15\ [N] + 2{,}3 * 0\ [N]$$

$$P = 1{,}76\ [N]$$

La vida estimada en millones de revoluciones viene dada por la fórmula:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Con $p = 3$ para el caso de rodamientos de bolas se tiene:

$$L_{10} = \left(\frac{9560\ [N]}{1.76\ [N]}\right)^3 = 1{,}603 \cdot 10^{11} [revoluciones]$$

Mediante la siguiente fórmula se determina la vida estimada en horas de trabajo:

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60n}\right) L_{10}$$

Donde n es la velocidad de trabajo en r.p.m., del eje de mezclado.

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60 * 60\ [rpm]}\right) 1{,}603 \cdot 10^{11}\ [revoluciones] = 4{,}45 \cdot 10^{13}\ [h]$$

La vida nominal ajustada viene dada por la expresión:

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10}$$

Dónde: el coeficiente a_1 es el coeficiente de fiabilidad del rodamiento, y se obtiene de la tabla del manual SKF, mostrado en el anexo A15.3.

Se considera un 90% de fiabilidad, de este modo se tiene que $a_1 = 1$.

Por otra parte el factor a_{23}, está dado por la calidad de la lubricación, para la cual se debe determinar la relación ν/ν_1.

Para ello, se determina el diámetro medio con la fórmula:

$$dm = \frac{D + d}{2} = \frac{40\ [mm] + 12\ [mm]}{2} = 26\ [mm]$$

Así usando el anexo 17, se determina el valor de la viscosidad nominal, a 20 rpm.

$$\nu_1 = 700\ [mm^2/s]$$

Mientras que utilizando el anexo 18, se obtiene el valor nominal de la viscosidad a una temperatura de 30°C, de lubricación del rodamiento ISO VG 100:

$$\nu = 180\ [mm^2/s]$$

De este modo la relación resultará:

$$\frac{\nu}{\nu_1} = 0{,}26$$

Usando el anexo 19, se determina el valor del coeficiente a_{23}

$$a_{23} = 0{,}15$$

Por lo que la vida nominal ajustada será:

$$L_{na} = 1 * 0{,}15 * 1{,}603 \cdot 10^{11}[h]$$

$$L_{na} = 1{,}59\ \cdot 10^{10}[h]$$

Cuyo valor es muy superior a las 25000 horas que es recomendado para este tipo de máquinas.

3.9. Sistema de control

Con el fin de accionar de madera segura tanto el eje de mezclado como el de extrusión se colocarán sensores de proximidad que permitan determinar cuando la tapa superior esté cerrada y cuando el separador de recipientes esté o no colocado.

3.9.1. Sensor de proximidad inductivo

Los sensores de proximidad inductivos incorporan una bobina electromagnética, la cual es usada para detectar la presencia de un objeto metálico conductor. Este tipo de sensor ignora objetos no metálicos [44]. En la Figura 30 se puede observar el esquema del sensor inductivo.

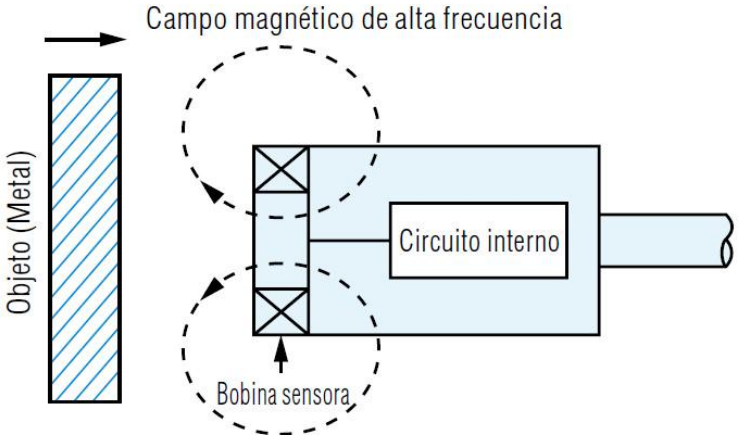


Figura 30. Esquema de un sensor inductivo [44].

Los sensores cilíndricos son los más utilizados. Algunos tienen un cable insertado de forma permanente, y otros tienen conectores, normalmente de tipo normalizado con tres o cuatro contactos, y una rosca M12 (ver Figura 31). Los que tienen conectores de rosca son más rápidos y cómodos de reemplazar [45]. En el anexo A25 se tiene las características específicas del sensor que se utiliza.

Figura 31. Vista general de un sensor inductivo [45].

3.9.2. Selección del sensor

En el mercado ecuatoriano existen diversos tipos de sensores, por facilidad de adquisición se selecciona el Sensor Inductivo M18 Pnp Nc F3c-18en08-p2.

Para el control general del circuito se usará un PLC con programación LADDER, bajo las siguientes consideraciones:

- Un botón pulsador para el encendido.
- Un botón pulsador para apagado y paro de emergencia.
- Una palanca de tres posiciones para activar alternativamente los ejes de mezclado y el eje de extrusión.
- El eje de mezclado solo puede accionarse cuando el equipo esté encendido, el eje encendido, la tapa superior cerrada y el separador de compartimentos colocado.
- El eje de extrusión solo puede accionarse cuando el equipo esté encendido, el eje encendido, la tapa superior cerrada y el separador de compartimentos retirado del equipo.

La programación LADDER que cumple con estos requisitos se puede observar en la Figura 32.

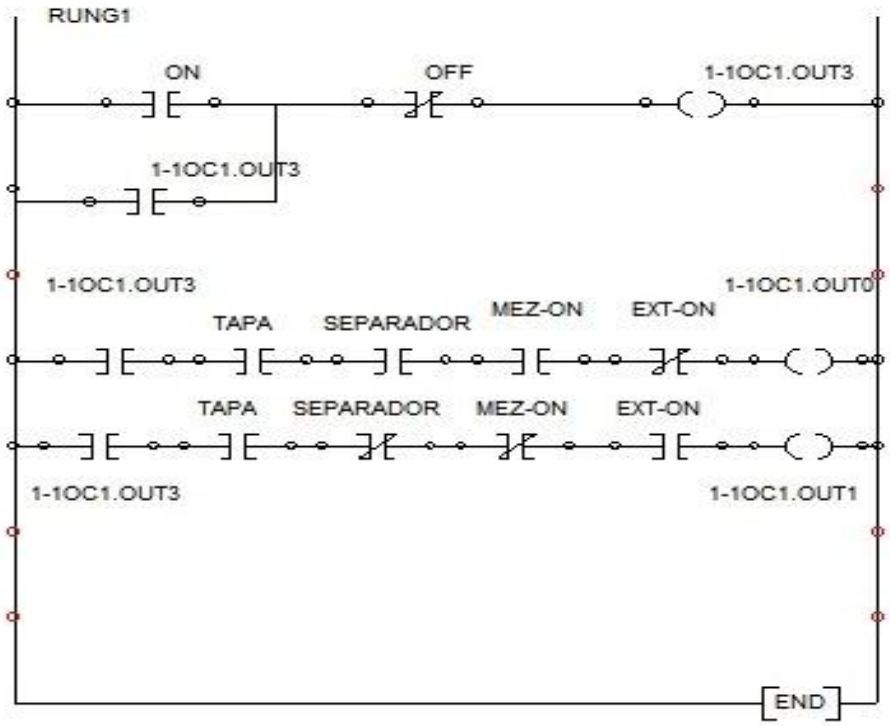


Figura 32. Programación LADDER. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

La consola de entrada se observa en la Figura 33.

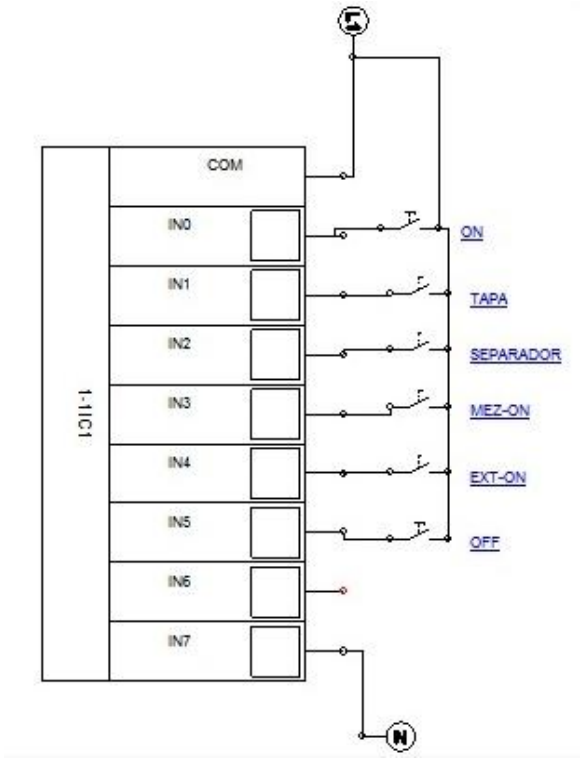


Figura 33. Mandos de control. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

La consola de salida se observa en la Figura 34.

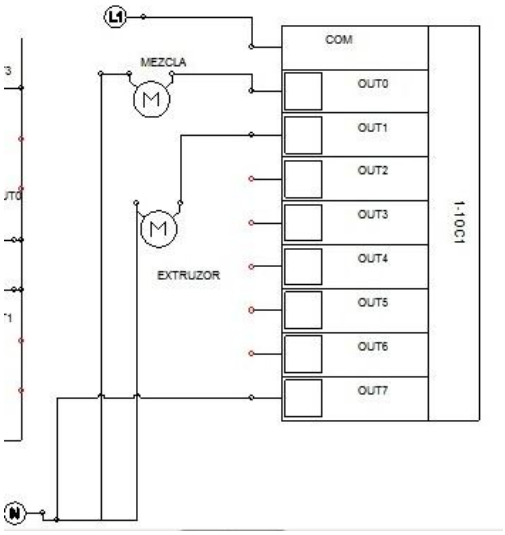


Figura 34. Salidas del PLC. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

La simulación del equipo cuando ya está encendido resulta como en la Figura 35.

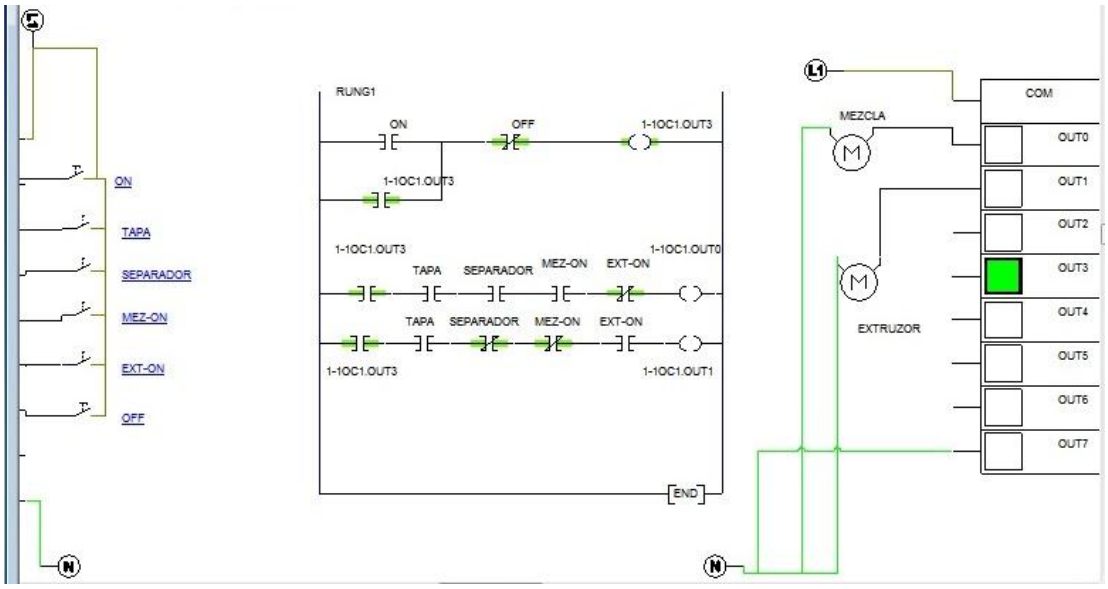


Figura 35. Simulación de encendido de equipo. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

La simulación de eje mezclador activado resulta como en la Figura 36.

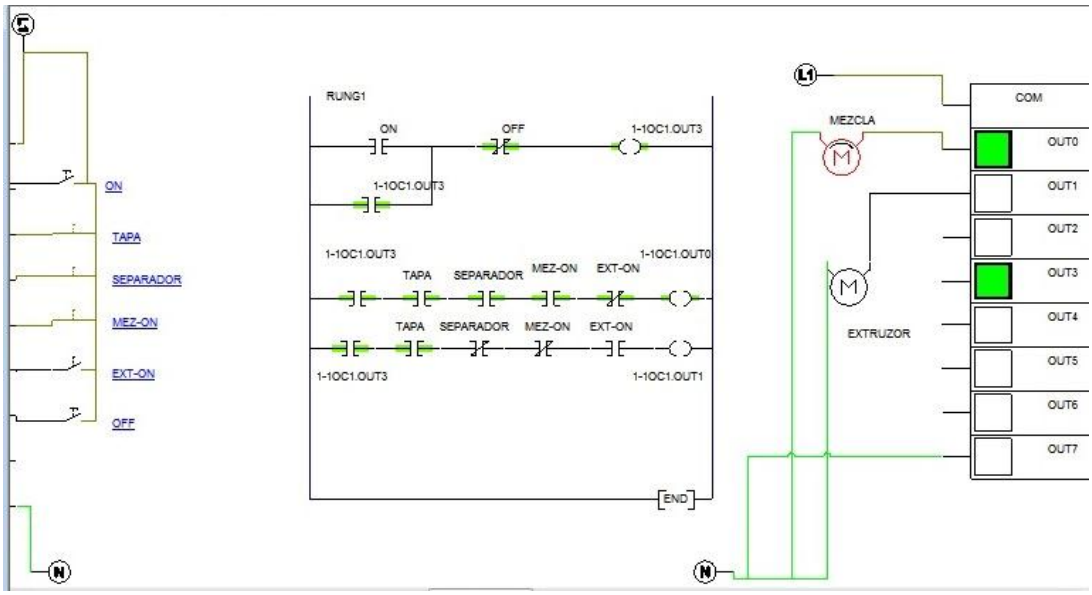


Figura 36. Simulación de encendido de eje de mezclado. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

La simulación con el eje de extrusión activado resulta como la Figura 37.

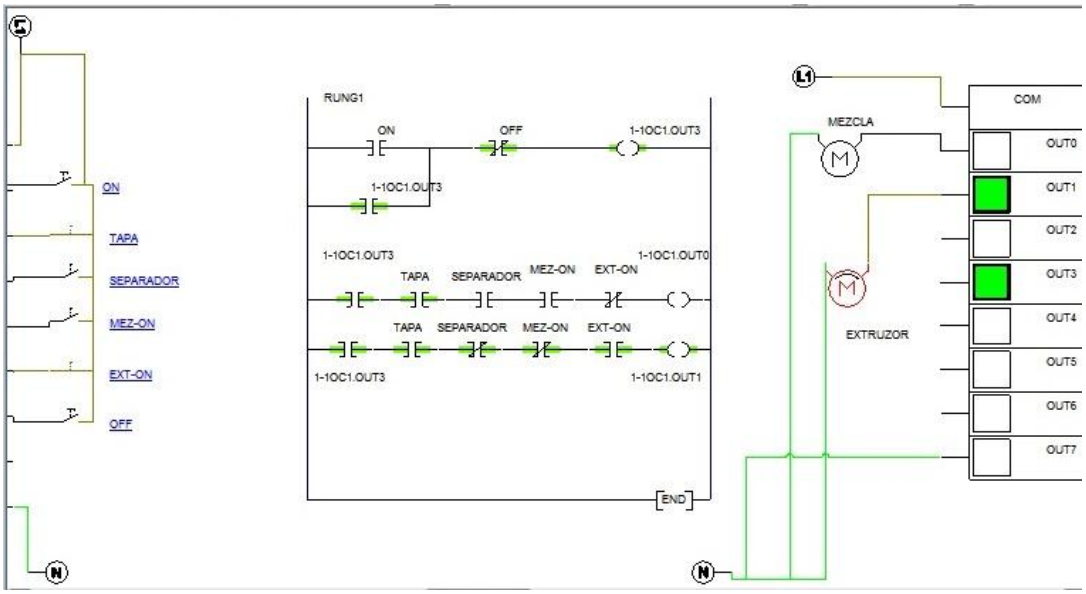


Figura 37. Simulación de encendido de eje extrusor. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

CAPÍTULO 4
SIMULACIÓN

En el presente capítulo, utilizando el software de SolidWorks, se dibujará la máquina con todos los parámetros determinados en el anterior capítulo y se realizará la simulación de su funcionamiento. Además se corroborará los diagramas de corte y momento.

4.1. Simulación estática de diseño

Utilizando el complemento de simulación de SolidWorks se determina para los ejes de extrusión y mezclado el factor de seguridad respectivo.
Para determinar el factor de seguridad para el diseño de los ejes se determinará el esfuerzo de Von Misses, resultando así:

$$Fs = \frac{límite\ elástico\ del\ material}{Esfuerzo\ máximo\ de\ Von\ Misses}$$

4.1.1. Simulación estática para el eje de extrusión

En el anexo 23, se observa el diagrama de corte y de momentos relativos al eje de extrusión los cuales corresponden en gran medida al ya calculado en el capítulo 3.
Para determinar el factor de seguridad, se aplican todas las cargas y sujeciones a las cuales estará sometido el eje como se ilustra en la Figura 30.

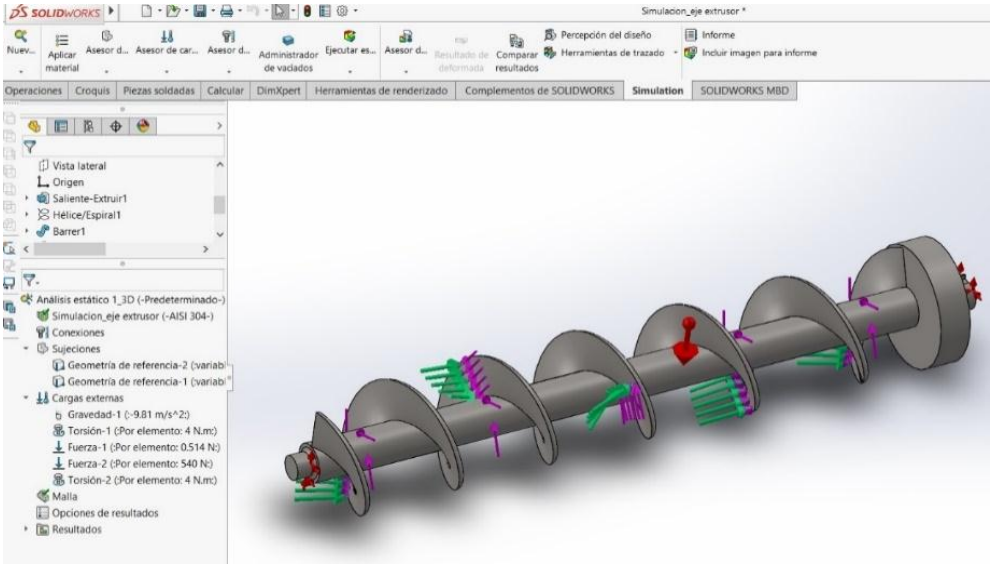


Figura 38. Cargas externas y sujeciones del eje extrusor. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

Posteriormente se realiza el análisis de la tensión de Von Misses, del eje extrusor, bajo las condiciones ya establecidas, resultando así como en Figura 31:

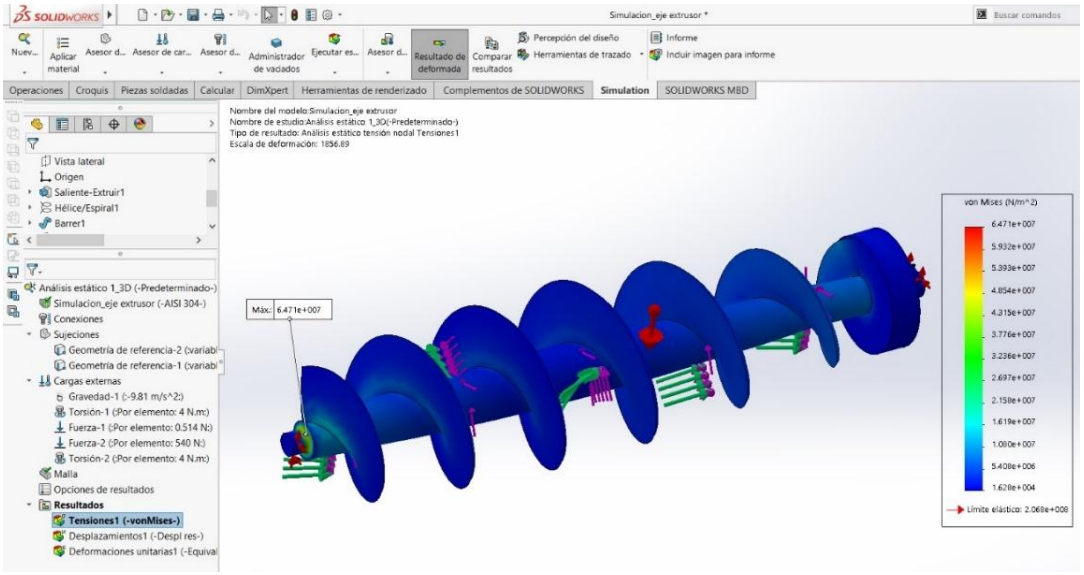


Figura 39. Tensión de Von Misses aplicado al eje extrusor. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

De este modo el Factor de seguridad resultará:

$$Fs = \frac{2.068 \cdot 10^{8}\ Pa}{6.471 \cdot 10^{7}\ Pa} = 3.18$$

Por tanto el eje extrusor tendrá un factor de seguridad de 3.18, lo cual garantiza su diseño.

4.1.2. Simulación estática para el eje de mezclado

En el anexo 24, se observan los diagramas de corte y momento del eje de mezclado, los cuales corresponden a los ya calculados en el capítulo 3.

A continuación se aplican todas las cargas y sujeciones a las cuales estará sometido el eje, para poder determinar el factor de seguridad, como se ilustra en la Figura 32.

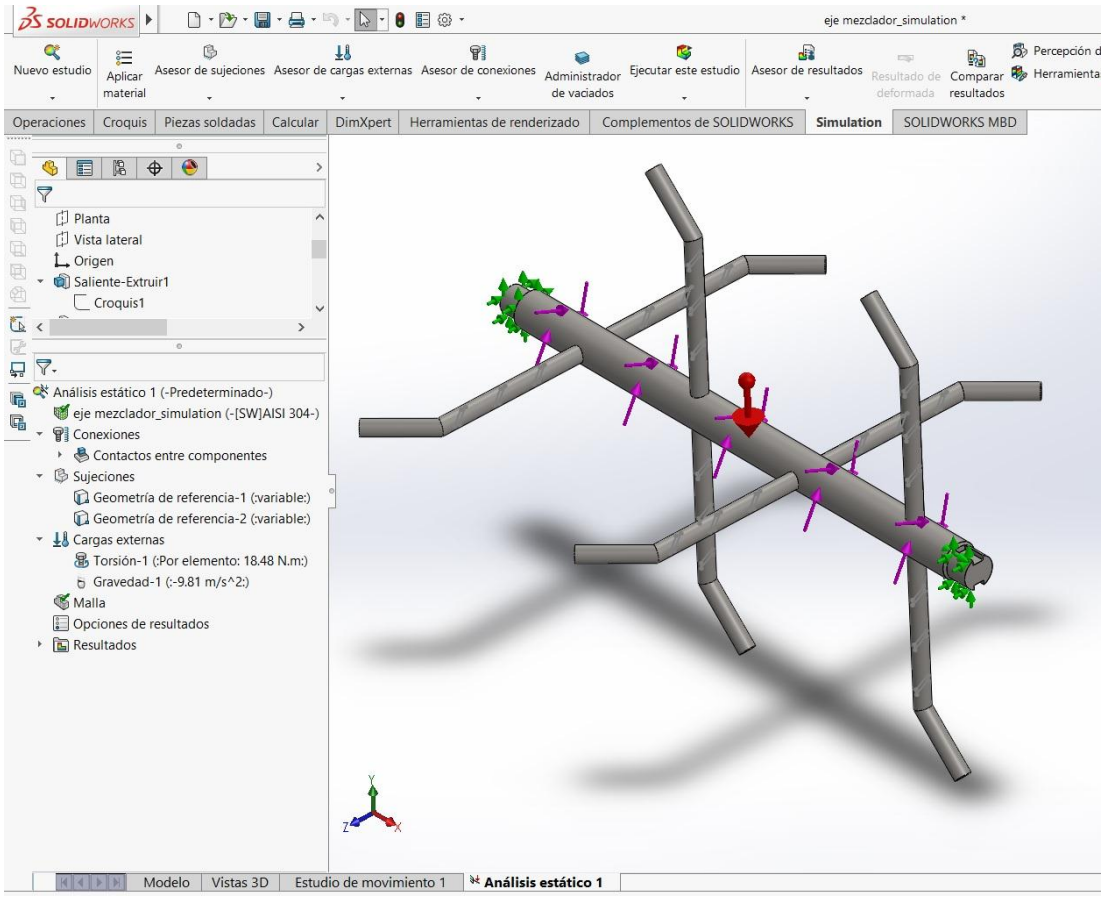


Figura 40. Cargas externas y sujeciones del eje mezclador. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

Posteriormente se realiza el análisis del eje de mezclado, bajo las condiciones ya establecidas, resultando así como en Figura 33:

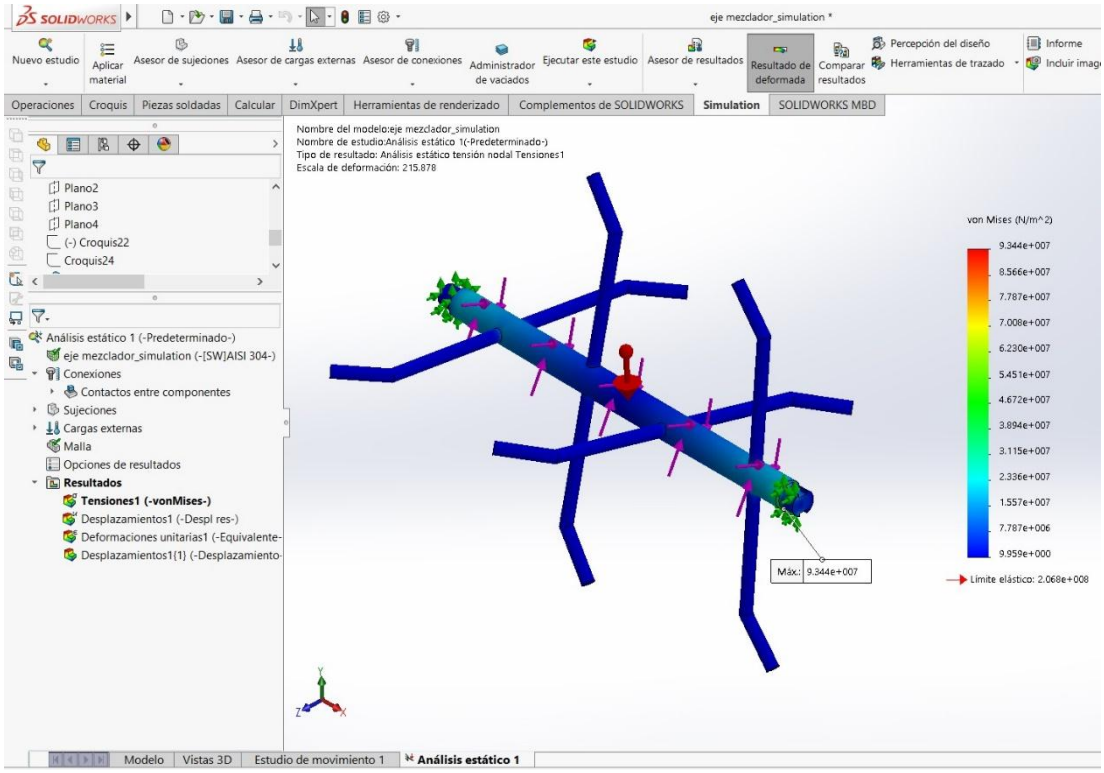


Figura 41. Tensión de Von Misses aplicado al eje mezclador. Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

De este modo el factor de seguridad resultará:

$$Fs = \frac{2.068 \cdot 10^{8}\ Pa}{9.344 \cdot 10^{7}\ Pa} = 2.21$$

Por tanto el eje de mezclado tendrá un factor de seguridad de 2.21, lo cual garantiza su diseño.

4.2. Simulación de funcionamiento

A continuación se presenta la simulación del funcionamiento de la máquina con todas sus partes instaladas.

Se representará el funcionamiento en varias etapas que corresponden:

- **Etapa 1**: Abertura de la cubierta o tapa superior de la máquina.

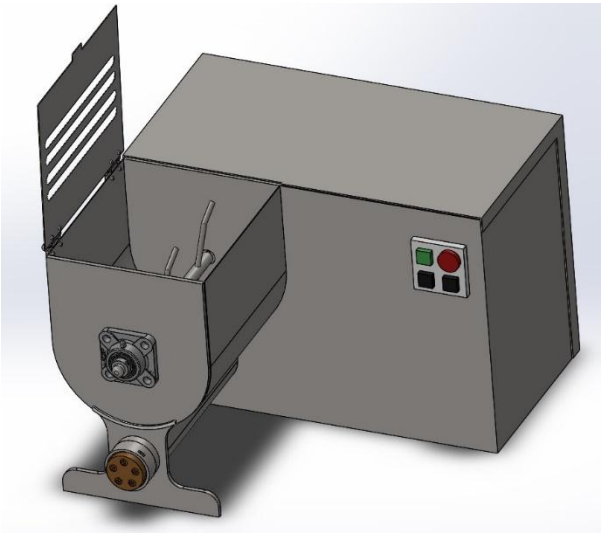


Figura 42. Simulación de funcionamiento "Etapa 1". Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

- **Etapa 2:** Cierre de la cubierta y puesta en marcha del eje de mezclado.

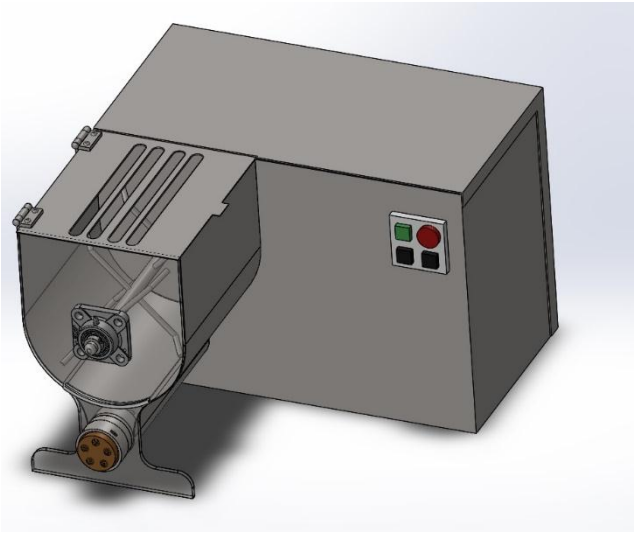


Figura 43. Simulación de funcionamiento "Etapa 2". Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

- **Etapa 3:** Concluida la fase de mezclado y amasado, se detiene la marcha del eje de mezclado y se retira la división entre la zona de mezclado y extrusión.

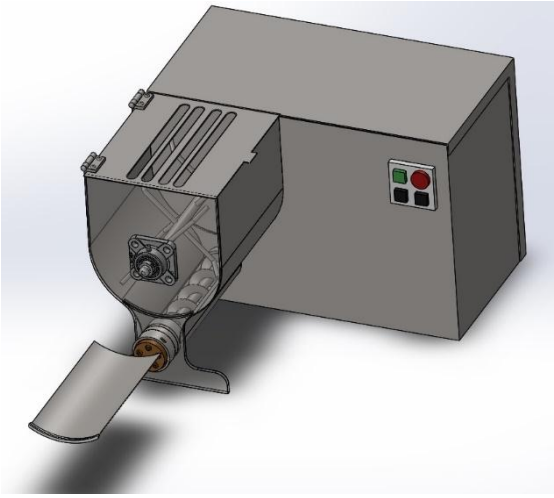


Figura 44. Simulación de funcionamiento "Etapa 3". Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

- **Etapa 4**: Se pone en marcha el eje de extrusión, para la extrusión mediante el dado del producto.

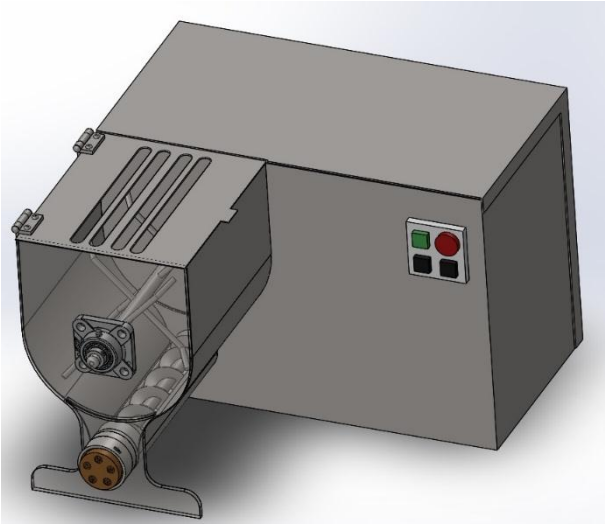


Figura 45. Simulación de funcionamiento "Etapa 4". Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar.

Una vez ultimada la etapa 4, se procede con detener la marcha del eje de extrusión y se lleva a cabo el desmontaje de los elementos dentro del contenedor para su respectiva limpieza.

CAPÍTULO 5
ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación se determinarán los costos de materia prima, fabricación, instalación, ingeniería y de todos los elementos mecánicos necesarios para elaboración de la maquina mezcladora y amasadora, además se realizará el análisis financiero y el tiempo que se pueda recuperar la inversión.

Para determinar el costo del proyecto se va a analizar ya sea los costos directos que los indirectos del mismo. Los costos directos son calculados en base a los materiales necesarios para la elaboración del proyecto mientras que los indirectos están relacionados a la construcción del mismo.

5.1. Costos directos

Para la elaboración del equipo se requieren los siguientes materiales, según se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Detalle de costos de materiales.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)
Eje de acero inoxidable de 50 [mm] de diámetro y un metro de longitud	1	40,00	40,00
Plancha de acero inoxidable de 2 [mm]	2	80,00	160,00
Plancha de acero inoxidable de 6 [mm]	1	285,00	285,00
Varilla de acero inoxidable de 7 [mm] de diámetro y un metro de longitud	2	10,00	20,00
			505,00

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

Los elementos estandarizados que se consiguen en el mercado nacional se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Costos de elementos estandarizados.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)
Motor SK92072	1	490,00	490,00
Motor SK92172	1	490,00	490,00
Unidad de rodamientos YAR 203/15-2F	1	37,00	37,00
Unidad de rodamientos YAR 203/12-2F	1	37,00	37,00
Dado de extrusión	1	110,00	110,00
Inserto de ejes	1	14,00	14,00
Sensores inductivos	2	65,00	130,00
PLC	1	184,80	184,80
Botonera	1	150,00	150,00
			1.642,80

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

Para la elaboración, mecanizado y montaje se tienen los siguientes rubros (ver Tabla 16):

Tabla 16. Costos del mecanizado y armado.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)
Tornero - Soldador	1	200,00	250,00
Alquiler de maquinaria	1	150,00	200,00
			450,00

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

5.2. Costos directos totales

En resumen (ver Tabla 17) los costos totales directos son:

Tabla 17. Costos directos totales.

Descripción	Cantidad	Costo Total (USD)
Materiales	1	505,00
Equipos estandarizados	1	1.642,80
Maquinado y armado	1	450,00
		2.597,80

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

5.3. Costos indirectos

Los costos indirectos (Tabla 18) resultan:

Tabla 18. Costos materiales indirectos.

Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo total (USD)
Desoldante	1	25.00	25.00
Recarga tanque de Argón y CO_2	1	220,00	220,00
Rollo de electrodo continuo para proceso MIG	1	58,00	58,00
			303,00

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

5.4. Costo total

El costo total del equipo (ver Tabla 19) resulta:

Tabla 19. Costo total del proyecto.

Descripción	Costo Total (USD)
Costos directos	2.597,80
Costos indirectos	303,00
	2.900,80

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

5.5. Tiempo de recuperación de la inversión

Esta es una máquina robusta que no requiere mantenimiento continuo, solo debe limpiarse después de cada uso y puede ser operada de forma continua.

La taza de producción es de 12 Kg/h y considerando un período de 5 horas efectivas de trabajo, se producirán unos 1200 Kg de pasta al mes.

Cada porción de pasta (en general acompañada de carne) es de medio kilo, por lo que al mes se atenderían en promedio unas 2400 personas a un costo promedio de $ 6,50 cada plato.

Un cocinero experto tarda, aproximadamente, tres horas en preparar 12 Kg de pasta (aunque su ritmo no es constante).

Con este equipo se duplica la producción de pasta, así como los ingresos generados y la persona encargada de su operación no requiere mayor calificación.
Esto se puede visualizar en la Tabla 20:

Tabla 20. Costos generados mensualmente.

Descripción	Costo Total (USD)
Sueldo del Chef	1.000,00
Operador de la máquina	-500,00
Ingresos extras	7.800,00
Materia prima	-6.720,00
	1.580,00

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benalcázar

Usando la fórmula de PayBack Period (PP) se tiene:

$$PP = \frac{Inversión}{Ingreso} = \frac{\$\ 2.900{,}80}{\$\ 1.580{,}00} = 1.84\ [meses]$$

Esto indica que en menos de dos meses se puede recuperar la inversión inicial, pero hay que considerar que no todos los meses existe el mismo movimiento de clientes y eso complica la forma de calcular el PayBack Period, sin embargo se observa que es una muy buena inversión la adquisición de la máquina y la diversificación de la producción dentro de un local comercial.

Conclusiones

- En Ecuador se tiene un consumo de pasta de 3,9 kg anuales per cápita, que en los últimos años ha ido en aumento superando las 60 000 toneladas de pasta anuales consumidas; por lo cual, si se considera que la máquina mezcladora-amasadora realizaría como mínimo 12 kg diarios, se tendría una producción anual de 4,5 toneladas lo que representaría una pequeña parte en el consumo de la pasta en el mercado nacional.

- El diseño realizado, muestra que para producir 12 Kg de pasta alimenticia, la máquina se demoraría alrededor de 59.33 min, alcanzando así una variación del 1.12 % del diseño programado. Valor que valida el diseño de la máquina logrando cumplir con el objetivo planteado.

- Se consideró que para el eje de mezclado, también es necesario el incremento de diámetro de 2 mm, puesto que la soldadura de los agitadores al eje pueden provocar fallos de deformación en las piezas soldadas.

- La simulación estática, realizada en SolidWorks, de los ejes de trabajo, ofrece una validación al diseño realizado por fatiga. Obteniendo por tanto valores del factor de seguridad estáticos y a fatiga de 2.21 y 2.04, para el eje de mezclado; mientras que para el eje de extrusión se tienen valores de 3.18 y 2.5 respectivamente. Cabe mencionar que la simulación estática se realizó solo a los ejes de trabajo, puesto que estos van a estar sometidos a las cargas axiales, radiales y tangenciales, por lo que se consideran dichos elementos como críticos.

- Durante la fase del análisis económico se pudo evidenciar que, dado los productos existentes en el mercado, hay un gran desperdicio de materia prima, en especial en la elaboración de las tapas y cuerpo de la máquina que son elaboradas de dos planchas diferentes de 1.22 x 2,44 [m], esto encarece el producto pudiendo hacerlo no muy rentable si se elabora solo un equipo.

Recomendaciones

- Se recomienda la construcción de un prototipo de la mezcladora-amasadora, sobre todo para verificar el funcionamiento de la máquina; además de analizar el proceso de extrusión, se puede verificar la fricción entre el dado extrusor y la pasta puede provocar una pre-cocción indeseada de la misma, para lo cual se deberá instalar un sistema de ventilación para evitar dicho inconveniente.

- Se recomienda la selección de elementos mecánicos normalizados para el buen funcionamiento de la máquina, además que la estandarización de estos elementos no requieren de un estudio avanzado tales como: pernos, tuercas, rodamientos y motorreductores; puesto que se pueden seleccionar de catálogos especializados que garantizan su operatividad.

- El uso de dos motores para el accionamiento de la máquina en lugar de un solo motor con sistema de piñones o cadena, asegura un menor mantenimiento, además se podrá tener un menor consumo de energía, puesto que el trabajo de la máquina considera la puesta en marcha de un solo motor a la vez.

- Se puede optimizar el funcionamiento de la máquina poniendo un sistema de accionamiento, tipo embrague, para los dos ejes de trabajo, de modo tal que se pueda utilizar e instalar un solo motor en la máquina.

- Se podría aprovechar el material no utilizado en la elaboración del equipo, para la construcción de una segunda máquina, a fin de disminuir los costos directos de materia prima y aumentar la rentabilidad del equipo.

Referencias bibliográficas

[1] M. Flecha, «Procesos y técnicas de panificación,» 2015. [En línea]. Available: https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrourense/aulavirtual2/pluginfile.php/8180/mod_resource/content/0/Procesos_y_tecnicas_de_panificacion-MANUAL.pdf.

[2] S. Fernández Portela, «Caracterización bioinformática de unidades de transcripción no anotadas relacionadas con la enfermedad celíaca,» Universidad del País Vasco, 2016.

[3] Real Academia Española, «RAE.es,» 2018. [En línea]. Available: http://dle.rae.es/.

[4] J. C. Rodriguez , «Mezclado y Mezcladoras,» 2017. [En línea]. Available: http://www.cpbmexico.com.mx/PDF/mez4b566.pdf.

[5] M. Rodríguez Montoya, 2003. [En línea]. Available: http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2003/02/12/5106.php.

[6] M. P. de Peña Fariza, I. Astiasarán Anchía y A. Martínez Hernández, «Cereales y Derivados,» de *Alimentos Composición y Propiedades*, 1999, pp. 135-154.

[7] J. Galeano Taborda, «Estudio de factibilidad para crear una empresa de venta de pastas express,» 2011. [En línea]. Available: https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/5332/1/TID01713.pdf.

[8] G. Sandoval y M. Álvarez, «Manual de elaboración de pastas alimenticias,» Ambato, 2016.

[9] D. Galindo y M. Valdez, «Elaboración de pastas artesanales con ocho tipos de harinas y su aplicación en nuevas recetas,» 2015. [En línea]. Available: http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23267/1/tesis.pdf.

[10] INEC, «INEC,» 2017. [En línea]. Available: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/canasta/.

[11] Agronegocios.com.ec, 2010. [En línea]. Available: http://agronegociosecuador.ning.com/notes/Fideos_alcanzan_r%C3%A9cord_en_Ecuador.

[12] P. Silva, T. Pizarro, P. Cortés, B. Morales y E. Acevedo, «Las pastas de calidad y el trigo candeal,» *Conin*, pp. 23-28, 2017.

[13] J. Ramírez , «Introducción a la Reología de Alimentos,» *ReCiTeIA*, vol. 6, nº 1, pp. 1-46, 2006.

[14] V. UHL y J. GRAY, «MIXING THEORY AND PRACTICE,» Academic Press , New York, 1966.

[15] S. Torres Brito y N. Vaca Obando, «Diseño, construcción e instalación de un tanque marmita de 2800 lt y rediseño de la lavadora de botellas n°1 de la empresa Licoram,» 2010. [En línea]. Available: http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/4067/T-ESPEL-0762.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[16] F. Sánchez y H. Valverde, «Diseño y construcción de un mezclador para la obtención de crema solar,» 2014. [En línea]. Available: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3503/1/96T00256%20UDCTFC.pdf.

[17] PULVEX, [En línea]. Available: http://maquinariapulvex.com/mezcladora-horizontal.html. [Último acceso: 09 2017].

[18] M. Calle, «Diseño y Fabricación de un Fluidificador Semi-Industrial,» Universidad del Azuay, Escuela de Ingeniería en Alimentos, Cuenca, 2002.

[19] FESTO, 2013. [En línea]. Available: https://www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_materials_es.pdf.

[20] ACERIND S:C:, [En línea]. Available: http://www.cientificosaficionados.com/libros/solinox1.pdf.

[21] La Monferrina, 2017. [En línea]. Available: http://www.la-monferrina.com/prodotti/files/trafile_estrusa_corta.pdf.

[22] Fattore meccanica, 2017. [En línea]. Available: http://www.fattoremeccanica.com/trafile.php.

[23] J. Harper, «DESARROLLO HISTORICO DE LA EXTRUSION,» de *MEMORIAS DEL SEMINARIO TALLER "EXTRUSION DE ALIMENTOS"*, Quito, 1992, pp. 3-12.

[24] J. Harper, «COMPARACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE EQUIPOS

DE EXTRUSION,» de *MEMORIAS DEL SEMINARIO TALLER "EXTRUSION DE ALIMENTOS"*, Quito, 1992, pp. 13-21.

[25] M. Groover, «Fundamentos de Manufactura Moderna,» McGraw-Hill, México, 2007.

[26] D. Palate y J. Villon, «Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Reactor de Mezcla Completa Didáctico,» UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, Guayaquil, 2006.

[27] D. Palate y J. Villon, «Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Reactor de Mezcla Completa Didáctico,» 2006. [En línea]. Available: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/813/1/978.pdf.

[28] Maquinaria Pulvex SA, 2016. [En línea]. Available: https://plus.google.com/+MaquinariaPulvexSAdeCVCiudaddeM%C3%A9xico/posts/KDBMZCx3NwW.

[29] American Institute of Steel Construction, Inc., Manual of STEEL CONSTRUCTION, Chicago: AISC, 1980.

[30] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México, D.F.: McGraw-Hill, 2008.

[31] R. Juvinall, Fundamentos de Diseño para Ingenieria Mecánica, México D.F.: LIMUSA S.A., 1996.

[32] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Pearson Education, 2006.

[33] Y. Cengel y J. Cimbala, Mecánica de Fluidos, México: McGraw-Hill, 2006.

[34] IVAN BOHMAN, [En línea]. Available: http://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2015/12/barras.pdf. [Último acceso: 07 01 2018].

[35] Monferrina, «P3-P6-P12,» [En línea]. Available: http://www.la-monferrina.com/prodotti/files/p3.pdf. [Último acceso: 02 11 2017].

[36] V. M. Faires, Diseño de Elementos de Maquinas, Cuarta ed., Barcelona: Montaner y Simon S.A., 1982.

[37] S. Zardetto y M. Dalla Rosa, «Effect of extrusion process on properties of cooked, fresh egg pasta,» *EL SEVIER*, vol. Journal of Food Engineering, nº 92, pp. 70-77, 2009.

[38] NORD DRIVESYSTEMS GROUP, «CONSTANT SPEEDS G1000 - IE2,» *NORD,* Vols. %1 de %2G1000 IE2 - 60HZ, nº MAT. NR. 6000802/2815.

[39] JUMO, 2017. [En línea]. Available: http://www.jumo.de/en_DE/support/faq/controllers/T2/Q8.html. [Último acceso: 03 01 2018].

[40] Bonfiglioli Riduttori, «C-A-F-S SERIES,» *Bonfiglioli Riduttori,* nº BR_CAT_CAFS_STD_SPA_R03_2, p. 578, 2015.

[41] P. Guerrero Canseco y W. Villalba Andrade, «Diseño de un equipo extrusor de pasta de fideo para la microempresa,» EPN, Quito, 2004.

[42] Nicolai Trafile, 2015. [En línea]. Available: http://www.niccolai.com/wp-content/uploads/2017/07/Catalogo2015_WEB.pdf.

[43] Grupo SKF, Rodamientos, Shutterstock, 2015.

[44] C. E. Canto Q., «Facultad de Ciencias / UASLP,» [En línea]. Available: http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/24_SENSORES_INDUCTIVOS.PDF. [Último acceso: 30 mayo 2018].

[45] Schneider Electric, Catálogo de sensores industriales, 2017.

[46] [En línea]. Available: https://rodavigo.net/catalogos/LASIOM/07%20Transmisi%C3%B3n/LASIOM%2011%20Chavetas.pdf. [Último acceso: 02 2018].

[47] [En línea]. Available: http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html. [Último acceso: 02 2018].

[48] Schneider Electric, «Hoja de características del XS618B1PAL5EX,» 2018.

ANEXOS

ANEXO 1:

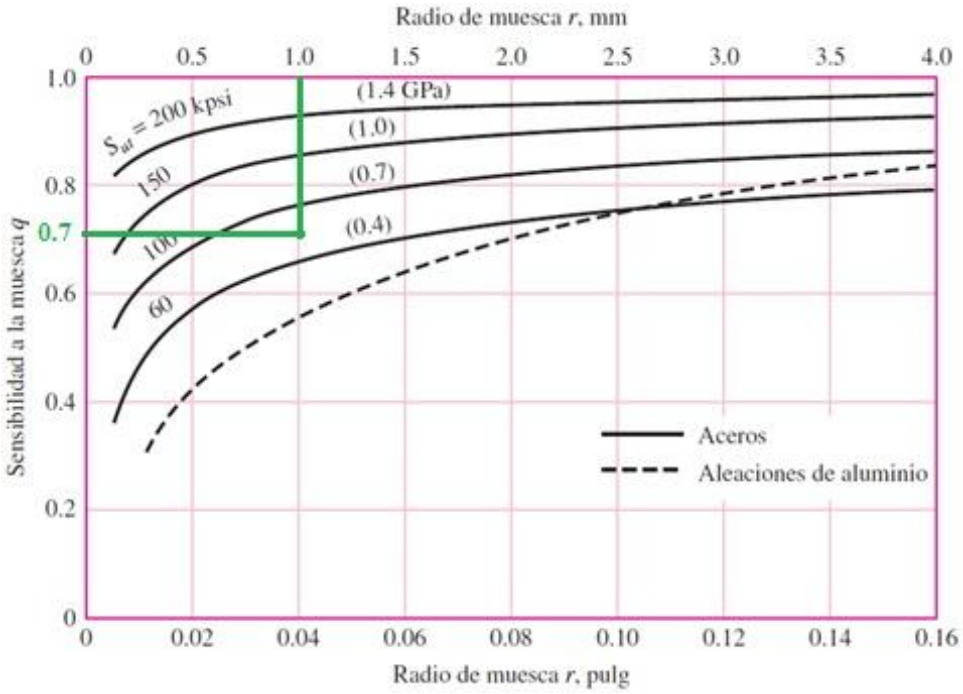
A1.1 Parámetros del factor de condición superficial de Marín [30]

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut}, KSI	S_{ut}, MPa	
Rectificado (Esmerilado)	1.34	1.58	-0.085
Maquinado	2.7	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Forjado	39.9	272	-0.995

A1.2 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a tensión del acero [30]

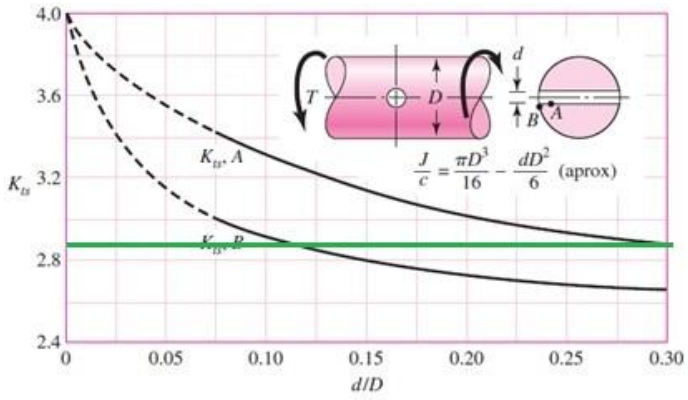
Temp, °C	K_d	Temp, °F	K_d
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

ANEXO 2: Sensibilidad de la muesca *q* [30]

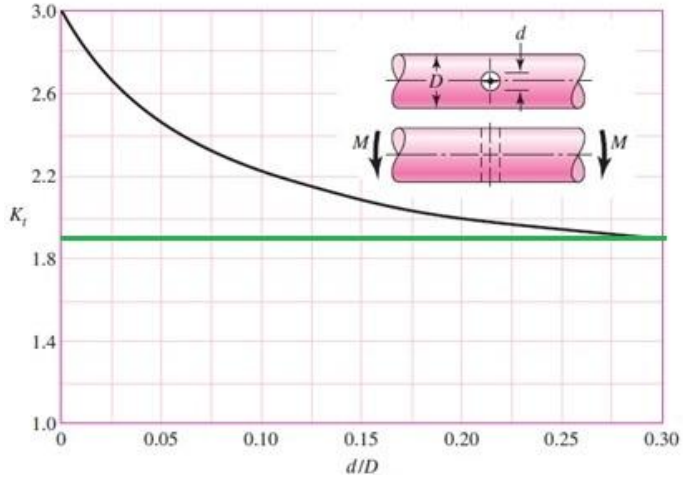


ANEXO 3:

A3.1 Eje redondo en torsión con agujero transversal [30]

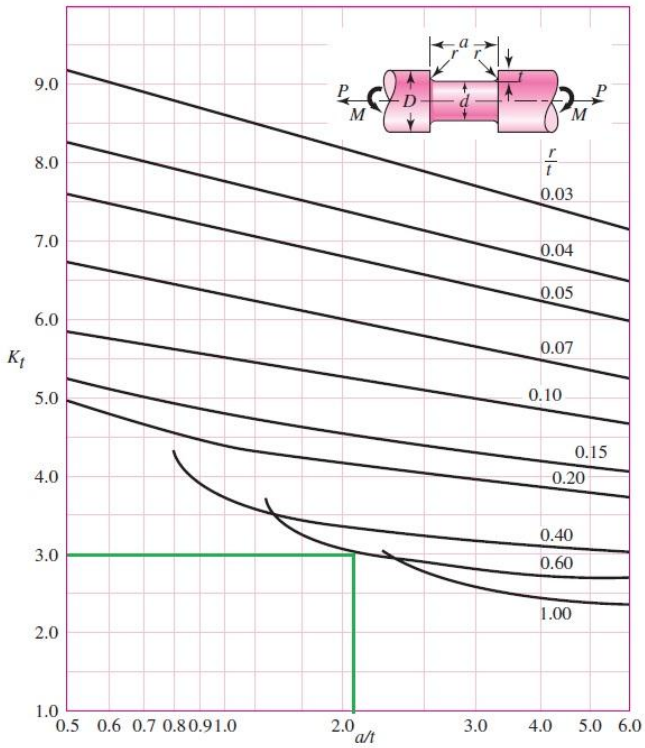


A3.2 Eje redondo en flexión con agujero transversal [30].

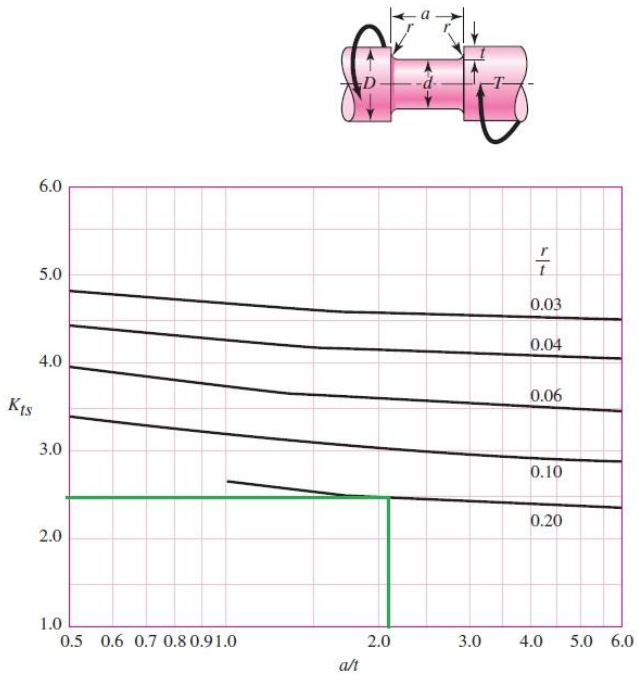


ANEXO 4:

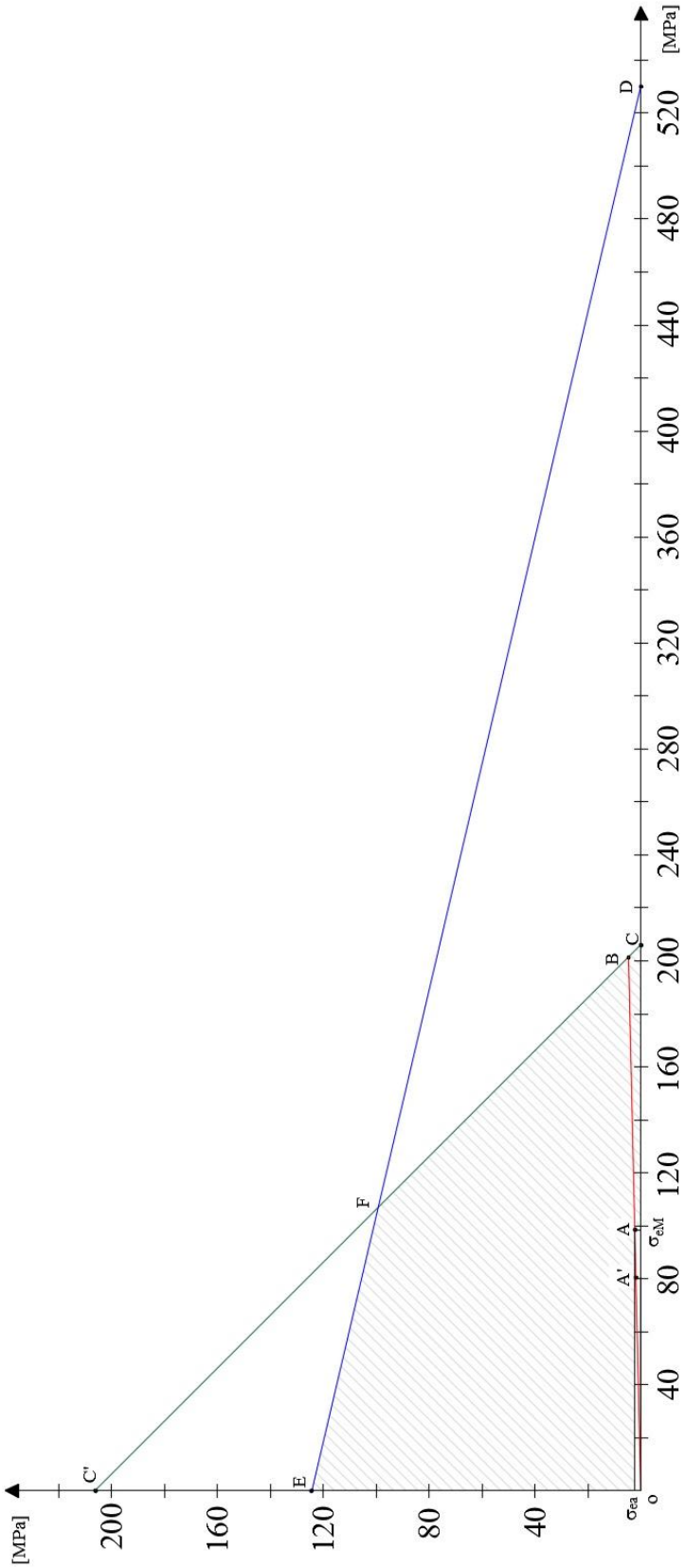
A4.1 Eje redondo con ranura de plano en flexión y/o tensión [30]



A4.2 Eje redondo con ranura de plano en torsión [30]

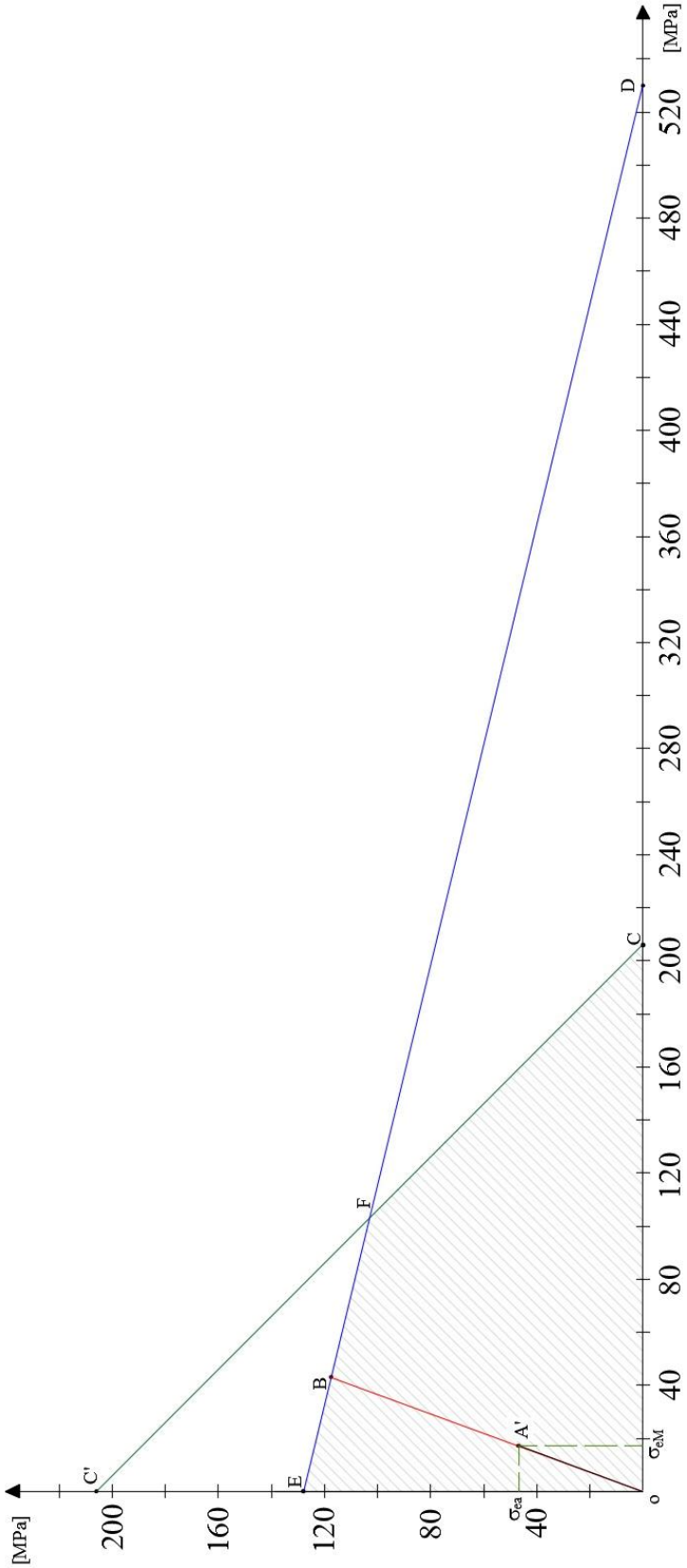


ANEXO 5: Diagrama de Goodman para el eje de mezclado.



Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

ANEXO 6: Diagrama de Goodman para el eje extrusor.



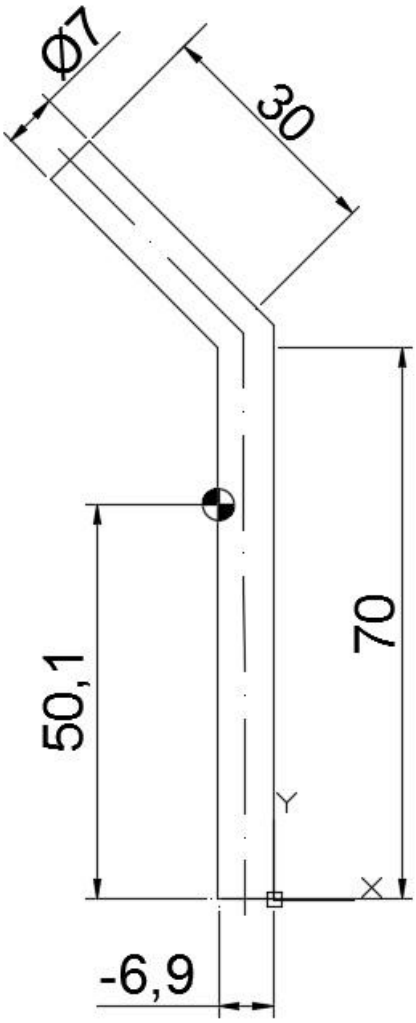
Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

ANEXOS 7: Ensayo para encontrar la densidad de la pasta alimenticia.

Se calculó que la densidad de la pasta alimenticia es de aproximadamente 570 Kg/m3, considerando 0.1 Kg de harina de trigo, y 1 huevo de 55 gramos. El peso total de la masa de la pasta es de 0.155 Kg, mientras que su volumen es de 270 ml.

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

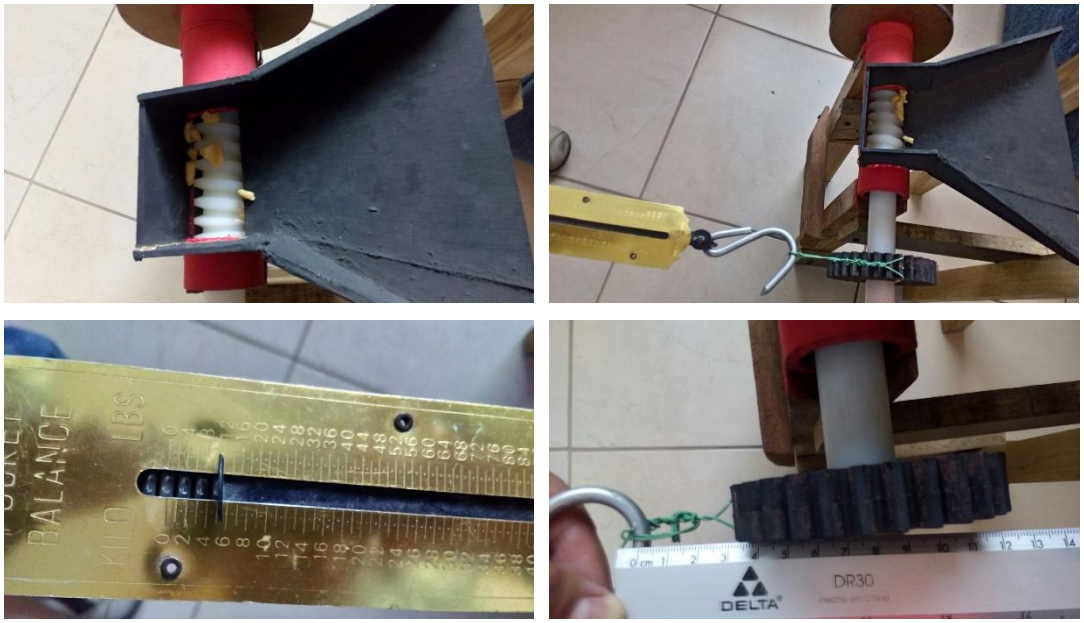
ANEXO 8: Dimensiones del agitador.



Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

ANEXO 9: Ensayo para determinar el torque del extrusor.

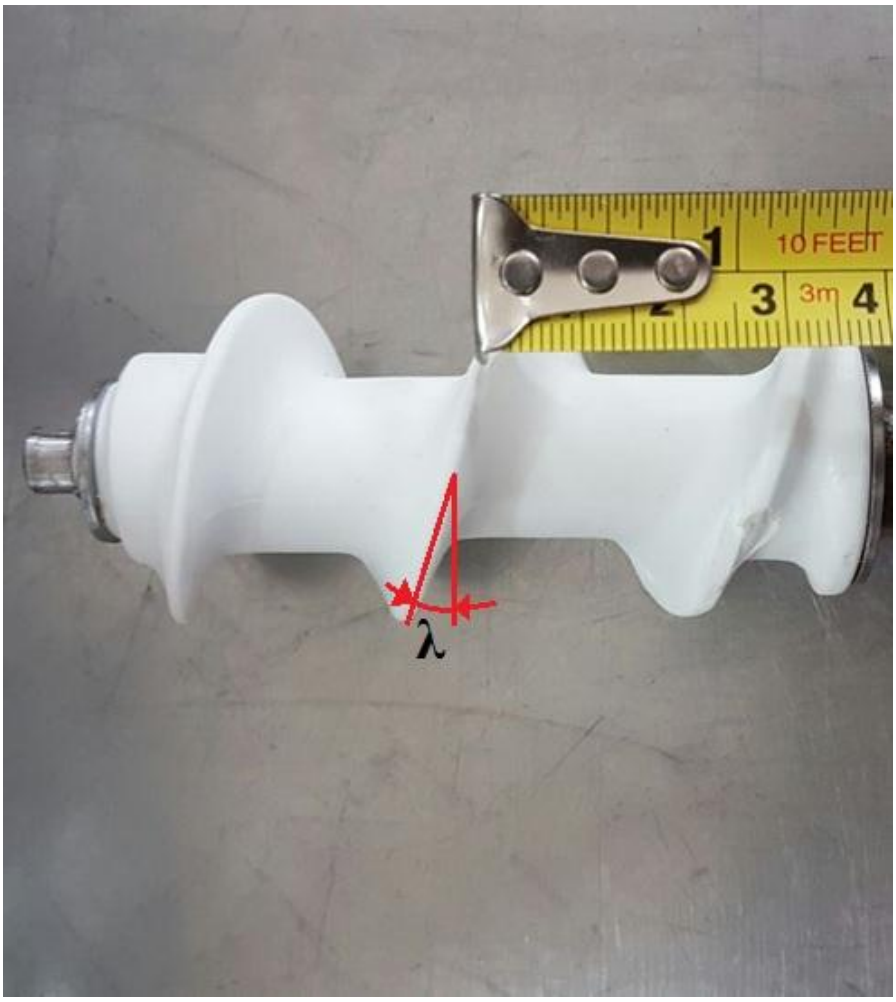
Mediante un tornillo sin fin, se calculó un valor aproximado del torque necesario para poder hacer girar el tornillo sin fin. La fuerza aplicada resultó ser de 49.05 N, mientras que la distancia al eje neutro fue de 8 cm, por lo que el Torque necesario resultó de 4 [Nm].



Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

ANEXO 10: Determinación del ángulo de avance mediante un eje extrusor de pasta.

Conociendo el paso del tornillo (paso alimentación = 3.2 cm; paso extrusión = 2.6) y el diámetro externo del eje (3.2 cm), se puede calcular el ángulo de avance del tornillo (18° para la zona de alimentación y 15° para la zona de extrusión.



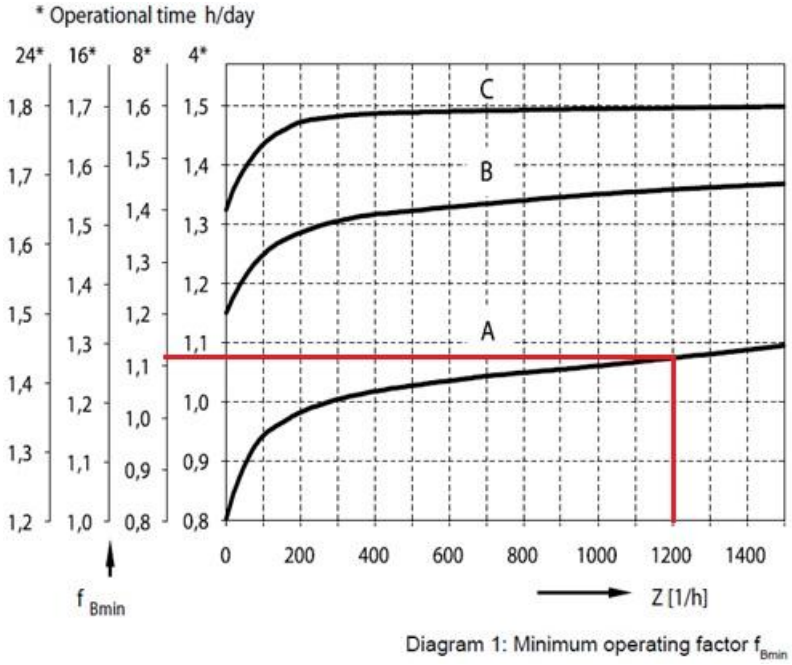
Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

ANEXO 11: Ensayo de fricción entre la pasta alimenticia y AISI 304.

Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

ANEXO 12:

A12.1 Factor de operación mínimo f_{Bmin} [38]



A12.2 Rendimiento dinámico del reductor [40]

	2 x	3 x	4 x
η_d	95%	93%	90%

	2 x	3 x	4 x
η_d	94%	91%	89%

	2 x	3 x	4 x
η_d	95%	93%	90%

	1 x
η_d	98%

ANEXO 13:

A13.1 Selección del motorreductor para el eje de mezclado [38]

0,18 kW

NORD DRIVESYSTEMS

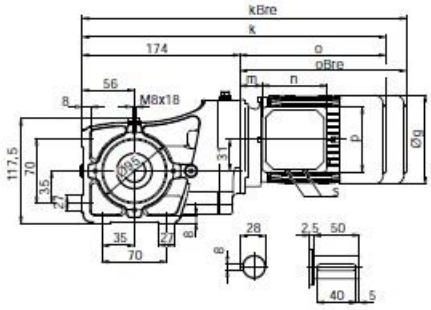
P_1 [kW]	n_2 [min⁻¹]	M_2 [Nm]	f_B	i_{ges}	F_R [kN]	F_A [kN]	$F_{R\,VL}$ [kN]	$F_{A\,VL}$ [kN]	Type	kg	mm
0,18	23	74,0	1,0	70,00	4,8	12,0	-	-	SK 92172.1 - 63 L/4	12	E62-63
	25	67,5	1,0	63,78	4,8	12,0	-	-			
	29	59,2	1,0	56,00	4,9	12,0	-	-			
	35	49,1	1,9	46,43	4,9	12,0	-	-			
	38	44,7	2,3	42,30	4,9	12,0	-	-			
	42	41,0	2,3	38,75	4,9	12,0	-	-			
	44	39,3	2,3	37,14	4,9	12,0	-	-			
	46	37,3	2,9	35,31	4,9	12,0	-	-			
	52	32,8	3,3	31,00	4,9	12,0	-	-			
	58	29,9	3,6	28,24	4,9	12,0	-	-			
	66	26,2	4,6	24,80	4,9	12,0	-	-			
	79	21,9	4,8	20,67	4,9	12,0	-	-			
	107	16,1	5,8	15,23	4,9	12,0	-	-			
	117	14,7	7,4	13,87	4,9	12,0	-	-			
	26	65,4	0,9	61,88	5,0	9,0	-	-	SK 92072.1 - 63 L/4	10	E60-61
	30	56,9	0,9	53,78	5,0	9,0	-	-			
	34	50,4	0,9	47,67	5,0	9,0	-	-			
	40	43,3	1,4	40,98	5,0	9,0	-	-			
	46	37,7	1,7	35,62	5,0	9,0	-	-			
	53	33,4	1,9	31,57	5,0	9,0	-	-			
	60	28,7	2,3	27,16	5,0	9,0	-	-			
	68	25,5	3,1	24,07	5,0	9,0	-	-			
	78	22,0	3,7	20,80	5,0	9,0	-	-			
	88	19,6	3,1	18,52	5,0	9,0	-	-			
	102	16,9	3,9	16,00	5,0	9,0	-	-			
	127	13,5	4,4	12,78	5,0	9,0	-	-			
	146	11,8	5,5	11,11	5,0	9,0	-	-			
	165	10,4	7,3	9,85	5,0	9,0	-	-			
	188	9,2	8,1	8,67	5,0	9,0	-	-			
	214	8,0	9,0	7,58	5,0	9,0	-	-			
	244	7,1	9,6	6,67	4,9	9,0	-	-			
	279	6,2	11,7	5,83	4,6	8,8	-	-			
	315	5,5	12,3	5,17	4,5	8,5	-	-			
	349	4,9	13,2	4,65	4,3	8,2	-	-			
	409	4,2	16,2	3,97	4,1	7,8	-	-			
	454	3,8	17,4	3,58	4,0	7,5	-	-			

A13.2 Dimensiones del motorreductor para el eje de mezclado [38]

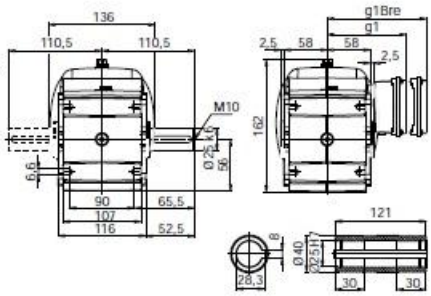
SK 92072.1

NORD DRIVESYSTEMS

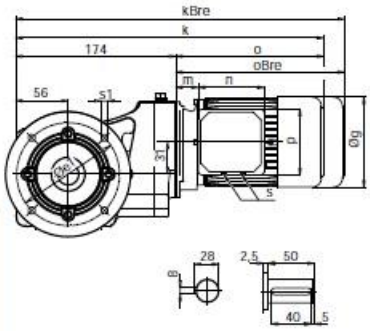
SK 92072.1 V



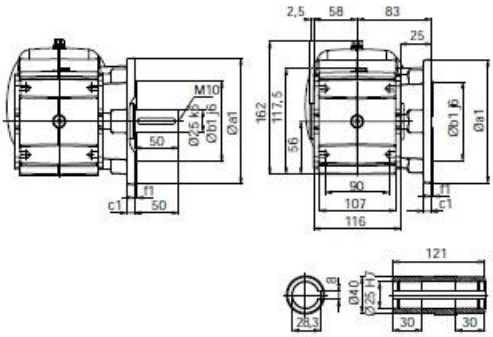
SK 92072.1 A



SK 92072.1VF



SK 92072.1 AF



a1	b1	c1	e1	f1	s1
140	95	10	115	3,0	9

± ➡ ☐A61	63 S/L	71 S/L	80 S	80 LH	90 SH		
g	130	145	165	165	183		
g1 / g1Bre	115 / 123	124 / 132	142 / 142	142 / 142	147 / 147		
k / kBre	366 / 422	388 / 446	410 / 474	410 / 474	450 / 525		
o / oBre	192 / 248	214 / 272	236 / 300	236 / 300	276 / 351		
m / mBre	12 / 19	20 / 27	22 / 26	22 / 26	26 / 30		
n / nBre	100 / 134	100 / 134	114 / 153	114 / 153	114 / 153		
p / pBre	100 / 89	100 / 89	114 / 108	114 / 108	114 / 108		
s	M20 x 1,5	M20 x 1,5	M25 x 1,5	M25 x 1,5	M25 x 1,5		

W ➡ ☐E116

IEC ➡ ☐E117

ANEXO 14:

A14.1 Selección del motorreductor para el eje extrusor [40]

0,18 kW

IE1

NORD DRIVESYSTEMS

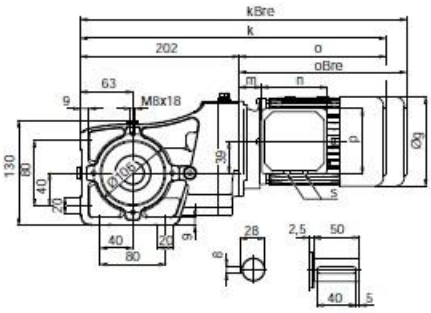
P_1 [kW]	n_2 [min^{-1}]	M_2 [Nm]	f_B	i_{ges}	F_R [kN]	F_A [kN]	$F_{R\,VL}$ [kN]	$F_{A\,VL}$ [kN]	Type	kg	mm
0,18	23	74,0	1,0	70,00	4,8	12,0	-	-	SK 92172.1 - 63 L/4	12	E62-63
	25	67,5	1,0	63,78	4,8	12,0	-	-			
	29	59,2	1,0	56,00	4,9	12,0	-	-			
	35	49,1	1,9	46,43	4,9	12,0	-	-			
	38	44,7	2,3	42,30	4,9	12,0	-	-			
	42	41,0	2,3	38,75	4,9	12,0	-	-			
	44	39,3	2,3	37,14	4,9	12,0	-	-			
	46	37,3	2,9	35,31	4,9	12,0	-	-			
	52	32,8	3,3	31,00	4,9	12,0	-	-			
	58	29,9	3,6	28,24	4,9	12,0	-	-			
	66	26,2	4,6	24,80	4,9	12,0	-	-			
	79	21,9	4,8	20,67	4,9	12,0	-	-			
	107	16,1	5,8	15,23	4,9	12,0	-	-			
	117	14,7	7,4	13,87	4,9	12,0	-	-			
	26	65,4	0,9	61,88	5,0	9,0	-	-	SK 92072.1 - 63 L/4	10	E60-61
	30	56,9	0,9	53,78	5,0	9,0	-	-			
	34	50,4	0,9	47,67	5,0	9,0	-	-			
	40	43,3	1,4	40,98	5,0	9,0	-	-			
	46	37,7	1,7	35,62	5,0	9,0	-	-			
	51	33,4	1,9	31,57	5,0	9,0	-	-			
	60	28,7	2,3	27,16	5,0	9,0	-	-			
	68	25,5	3,1	24,07	5,0	9,0	-	-			
	78	22,0	3,7	20,80	5,0	9,0	-	-			
	88	19,6	3,1	18,52	5,0	9,0	-	-			
	102	16,9	3,9	16,00	5,0	9,0	-	-			
	127	13,5	4,4	12,78	5,0	9,0	-	-			
	146	11,8	5,5	11,11	5,0	9,0	-	-			
	165	10,4	7,3	9,85	5,0	9,0	-	-			
	188	9,2	8,1	8,67	5,0	9,0	-	-			
	214	8,0	9,0	7,58	5,0	9,0	-	-			
	244	7,1	9,6	6,67	4,9	9,0	-	-			
	279	6,2	11,7	5,83	4,6	8,8	-	-			
	315	5,5	12,3	5,17	4,5	8,5	-	-			
	349	4,9	13,2	4,65	4,3	8,2	-	-			
	409	4,2	16,2	3,97	4,1	7,8	-	-			
	454	3,8	17,4	3,58	4,0	7,5	-	-			

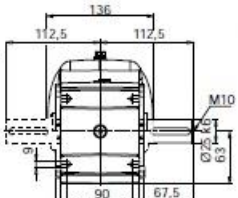
A14.2 Dimensiones del motorreductor para el eje extrusor [38]

SK 92172.1

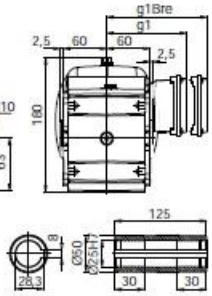
NORD DRIVESYSTEMS

SK 92172.1 V

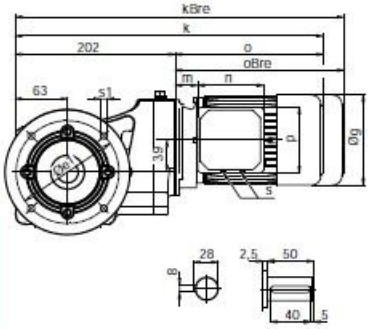


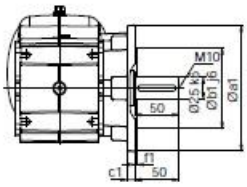


SK 92172.1 A

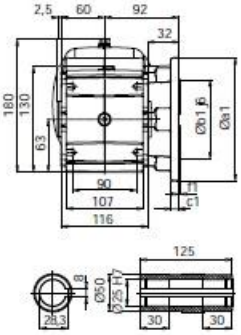


SK 92172.1VF





SK 92172.1 AF



a1	b1	c1	e1	f1	s1
160	110	12	130	3,5	9

± ➡ ☐A61	63 S/L	71 S/L	80 S	80 LH	90 SH/LH		
g	130	145	165	165	183		
g1 / g1Bre	115 / 123	124 / 132	142 / 142	142 / 142	147 / 147		
k / kBre	394 / 450	416 / 474	438 / 502	438 / 502	478 / 553		
o / oBre	192 / 248	214 / 272	236 / 300	236 / 300	276 / 351		
m / mBre	12 / 19	20 / 27	22 / 26	22 / 26	26 / 30		
n / nBre	100 / 134	100 / 134	114 / 153	114 / 153	114 / 153		
p / pBre	100 / 89	100 / 89	114 / 108	114 / 108	114 / 108		
s	M20 x 1,5	M20 x 1,5	M25 x 1,5	M25 x 1,5	M25 x 1,5		

W ➡ ☐E116

IEC ➡ ☐E118

ANEXO 15:

A15.1 Valores Orientativos de la vida útil para los rodamientos [43]

Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000

A15.2 Dimensiones de Rodamientos, prisionero y ejes métricos [43]

Dimensiones							Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	B	C	d_1 ~	s_1	$r_{1,2}$ min.	dinámica C	estática C_0	P_u	con tolerancia del eje h6		
mm							kN		kN	r. p. m.	kg	–
12	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,11	YAR 203/12-2F
15	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,1	YAR 203/15-2F
17	40	22,1	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,07	YAT 203
	40	27,4	12	24,2	15,9	0,3	9,56	4,75	0,2	9 500	0,09	YAR 203-2F
20	47	25,5	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,11	YAT 204
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	E2.YAR 204-2F
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	8 500	0,14	YAR 204-2F
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,14	YAR 204-2RF
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	10,8	6,55	0,28	5 000	0,14	YAR 204-2RF/HV
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	5 000	0,14	YAR 204-2RF/VE495
	47	31	14	28,2	18,3	0,6	12,7	6,55	0,28	1 800	0,15	YARAG 204

A15.3 Valores de factor de ajuste de la vida útil para rodamientos [43]

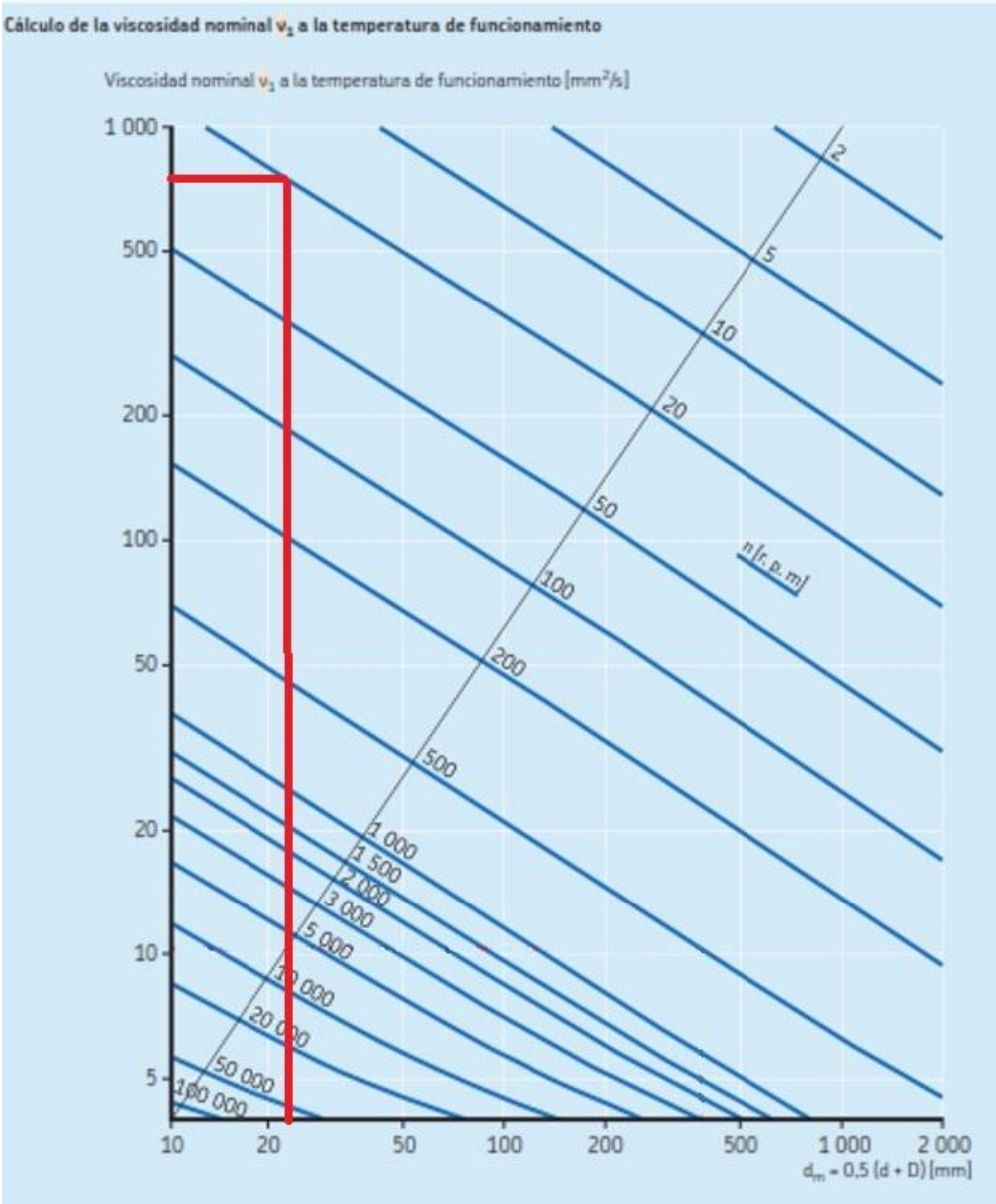
Confiabilidad	Probabilidad de falla n	Vida nominal SKF L_{nm}	Factor a_1
%	%	millones de revoluciones	–
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25

ANEXO 16: Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bola [30]

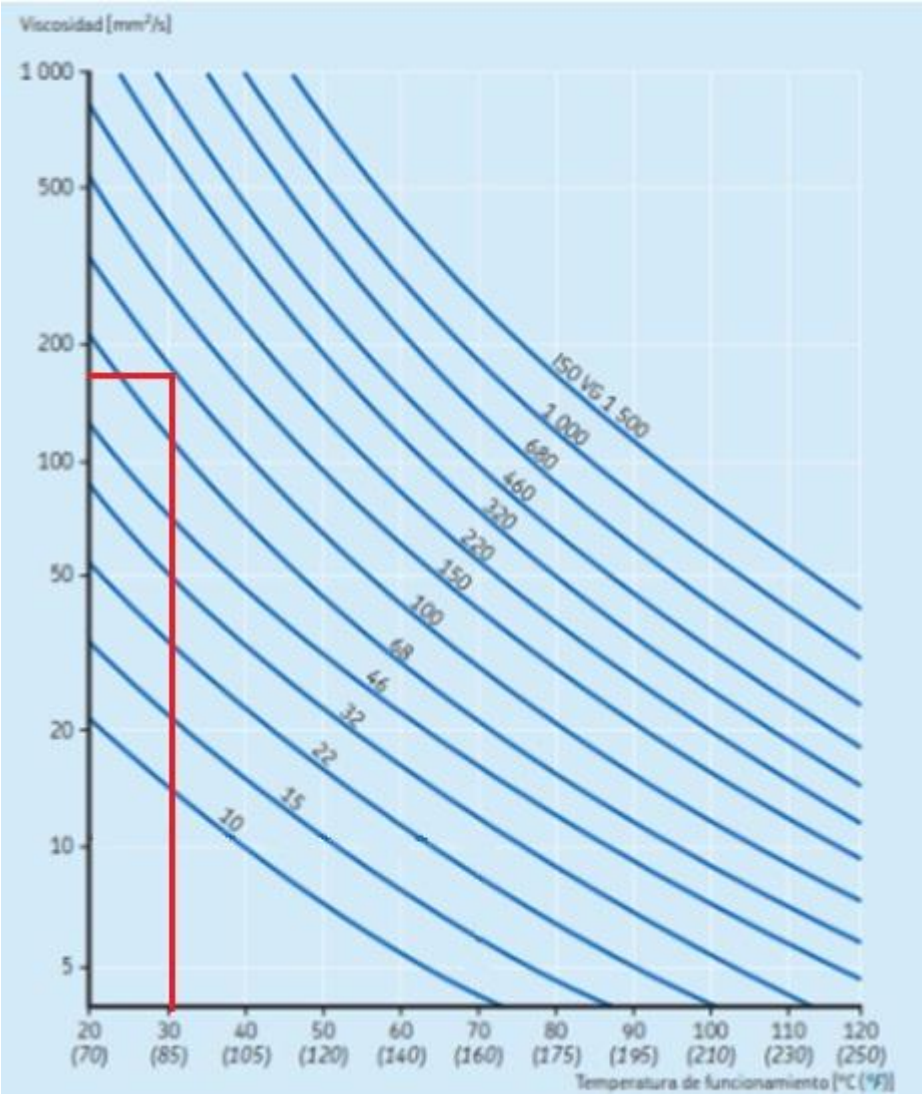
		$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
F_a/C_0	e	X_1	Y_1	X_2	Y_2
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

*Utilice 0.014 si $F_a/C_0 < 0.014$.

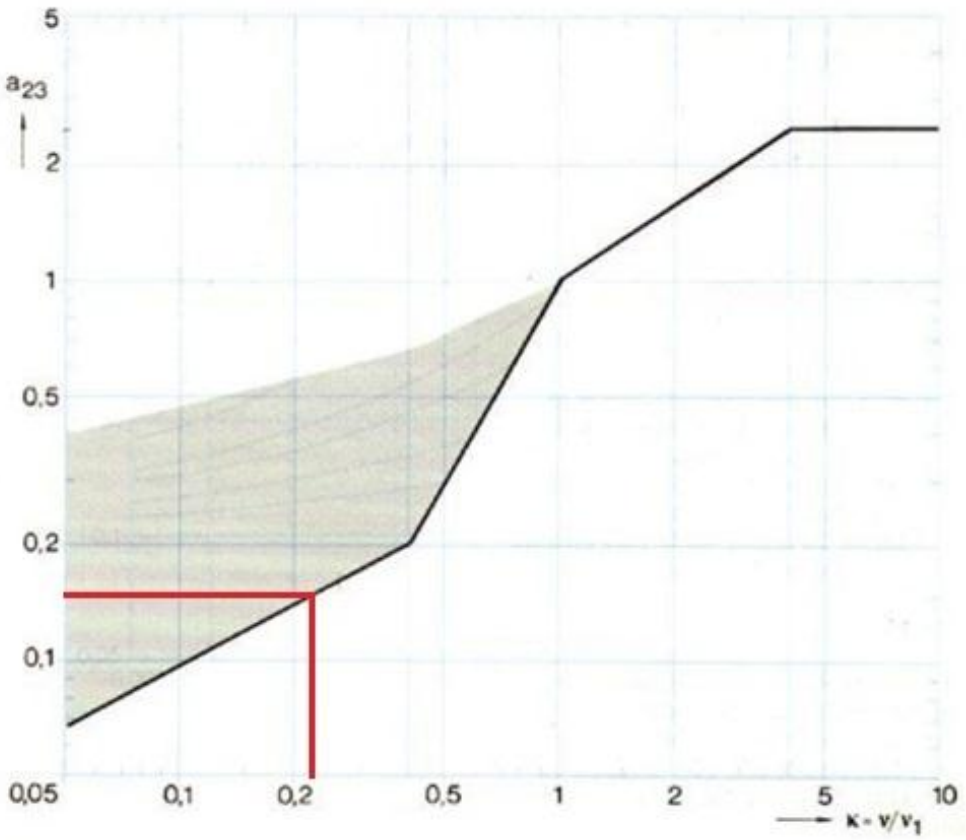
ANEXO 17: Cálculo de la viscosidad nominal a la temperatura de funcionamiento para la selección de rodamientos [43]



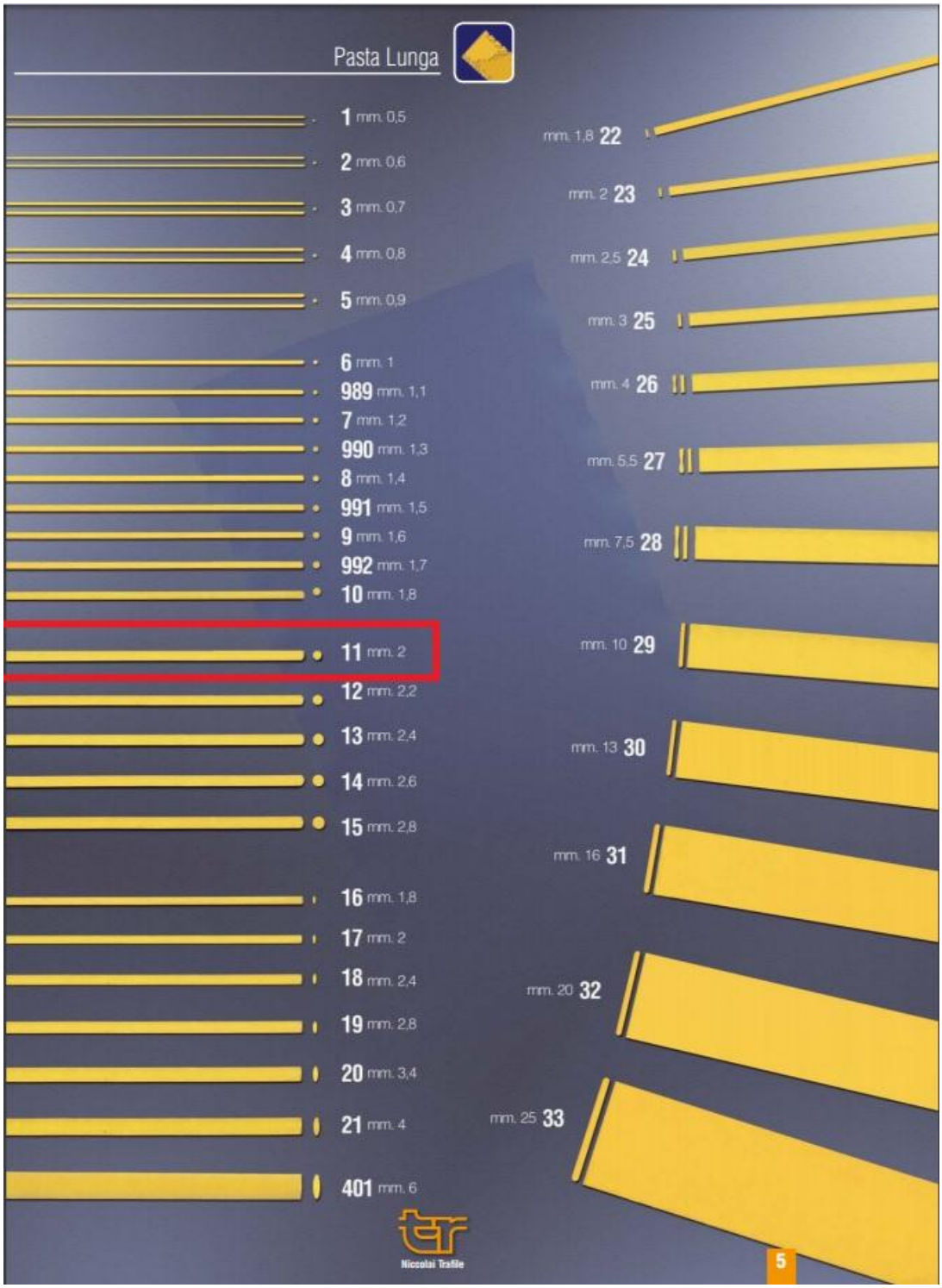
ANEXO 18: Diagrama de Viscosidad Vs. Temperatura de Funcionamiento del Rodamiento [43]



ANEXO 19: Coeficiente a_{23} Vs. Relación ν/ν_1 para la selección rodamiento [43]



ANEXO 20: Catalogo para los moldes del dado extrusor [42]



ANEXO 21: Tabla de tolerancia de chavetas y chaveteros de alojamiento (mm) [46]

Campo de aplicación		Chaveta			Chavetero										
		Sección			Largo							Profundidad			
Diámetro eje		Dimen normal	Toleran sobre		Dim. nom.	Tolerancia sobre **b**						Eje		Cubo	
						Por eje			Por cubo			t1		t2	
d		**b x h**	**b^{h9}**	**h***	**b**	H9	N9	P9	D10	Js9	P9	Nom	Tol.	Nom	Tol.
De	6	2x2	0	0	2	+0,025	-0,004	-0,006	+0,060	±0,012	-0,006	1,2	+0,1	1	+0,1
Hasta	8		-0,025	-0,025		0	0	-0,031	+0,020		-0,031		0		0
Más de	8	3x3			3							1,8		1,4	
hasta	10														
Más de	10	4x4	0	0	4	+0,030	0	-0,012	+0,078	±0,015	-0,012	2,5		1,8	
Hasta	12		-0,030	-0,030		0	-0,030	-0,042	+0,030		-0,042				
Más de	12	5x5			5							3		2,3	
Hasta	17														
Más de	17	6x6			6							3,5		3,5	
Hasta	22														
Más de	22	8x7	0	0	8	+0,036	0	-0,015	+0,098	±0,018	-0,015	5		3,3	
Hasta	30		-0,036	-0,090		0	-0,036	-0,051	+0,040		-0,051				
Más de	30	10x8			10							5		3,3	
Hasta	38														
Más de	38	12x8	0		12	+0,043	0	-0,018	+0,120	±0,021	-0,018	5	+0,2	3,3	+0,2
Hasta	44		-0,043			0	-0,043	-0,061	+0,050		-0,061		0		0
Más de	44	14x9			14							5,5		3,8	
Hasta	50														
Más de	50	16x10			16							6		4,3	
Hasta	58														
Más de	58	18x11		0	18							7		4,4	
Hasta	60			-0,110											
Más de	65	20x12	0		20	+0,052	0	-0,022	+0,149	±0,026	-0,022	7,5		4,9	
Hasta	75		-0,052			0	-0,052	-0,074	+0,065		-0,074				
Más de	75	22x14			22							9		5,4	
Hasta	85														
Más de	85	25x14			25							9		5,4	
Hasta	95														
Más de	95	28x16			28							10		6,4	
Hasta	110														
Más de	110	32x18	0		32	+0,062	0	-0,026	+0,180	±0,031	-0,026	11			
Hasta	130		-0,062			0	-0,062	-0,088	+0,080		-0,088				
Más de	130	36x20			36							12	+0,3	8,4	+0,3
Hasta	150												0		0
Más de	150	40x22			40							13		9,4	
Hasta	170														
Más de	170	45x25			45							15		10,4	
Hasta	200														
Más de	200	50x28			50							17		11,4	
Hasta	230														
Más de	230	56x32	0		56	+0,074	0	-0,032	+0,220	±0,037	-0,032	20		12,4	
Hasta	260		-0,074			0	-0,074	-0,106	+0,100		-0,106				
Más de	260	63x32			63							20		12,4	
Hasta	290														
Más de	290	70x36			70							22		14,4	
Hasta	330														
Más de	330	80x40			80							25		15,4	
Hasta	380														
Más de	380	90x45	0		90	+0,087	0	-0,037	+0,260	±0,043	-0,037	28		17,4	
Hasta	440		-0,087			0	-087	-0,124	+0,120		-0,124				
Más de	440	100x50			100							31		19,5	
hasta	500														

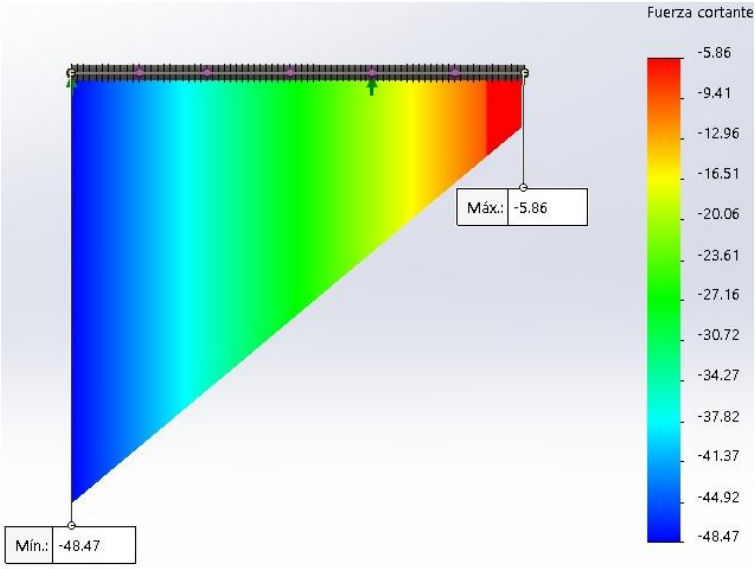
* La tolerancia es **h9** para la sección cuadrada y **h11** para la rectangular.

ANEXO 22: Coeficiente de relleno que ocupa el material en el eje extrusor [47]

Tipo de carga	**Coeficiente de relleno, λ**
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

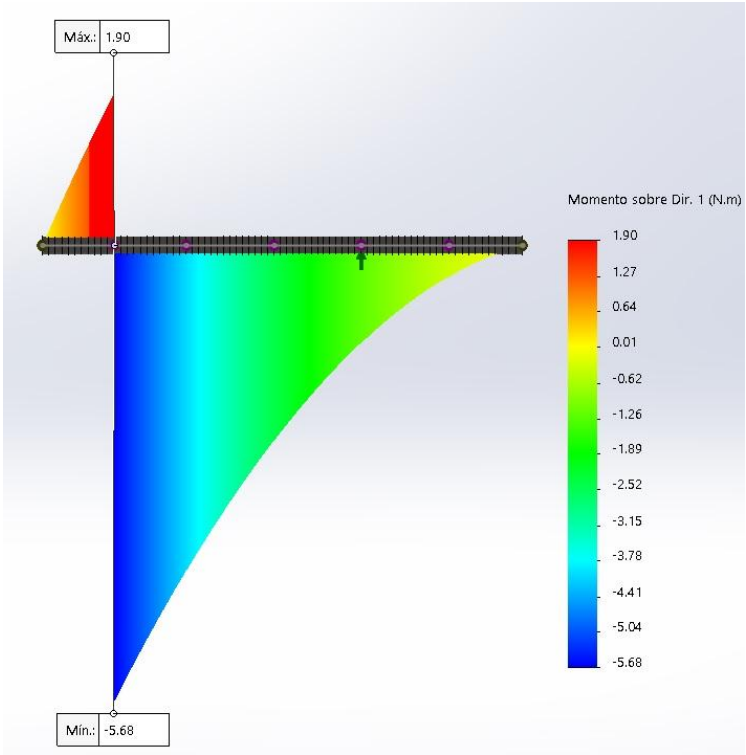
ANEXO 23:

A23.1. Diagrama de corte para el eje de extrusión



Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

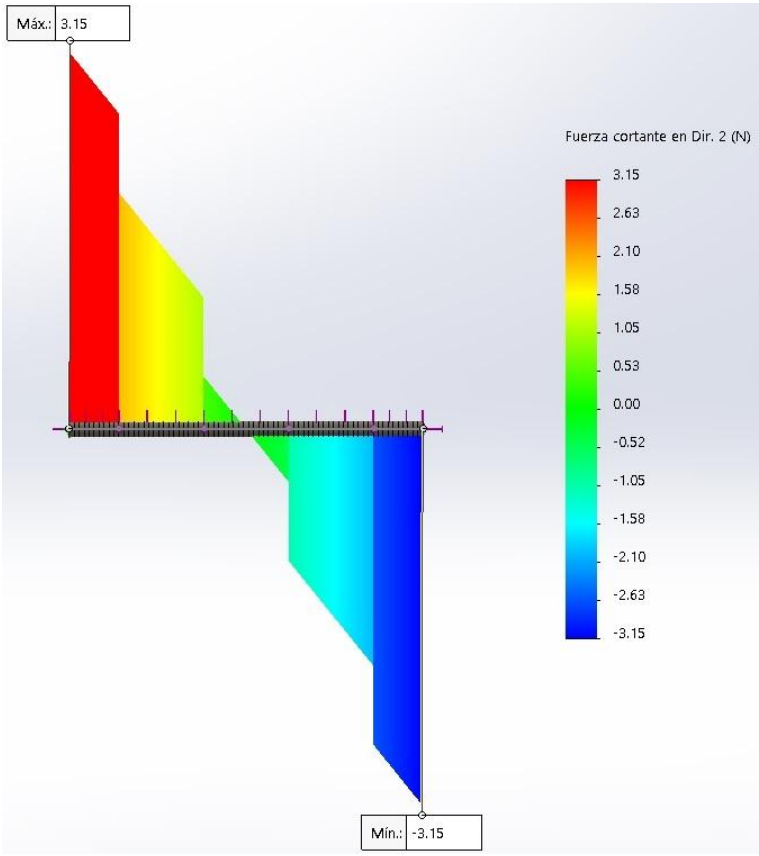
A23.2. Diagrama de momento para el eje de extrusión



Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

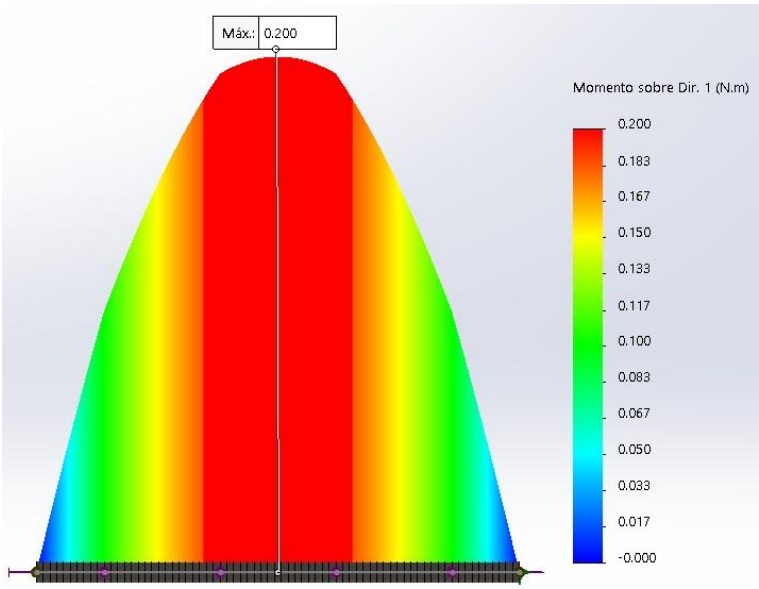
ANEXO 24:

A24.1. Diagrama de corte del eje de mezclado.



Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

A24.2. Diagrama de momentos del eje de mezclado.



Elaborado por: Carlos Renjifo y Marco Benálcazar

ANEXO 25

Parte 1: Especificaciones del sensor inductivo XS6 ATEX [48].

Hoja de características del producto
Características

XS618B1PAL5EX
sensor inductivo XS6 ATEX - M18 cilíndrico - Sn 8 mm - cable 5 m - 1 NA

Principal

Gama de producto	OsiSense XS ATEX D
Nombre de serie	Aplicación
Tipo de sensor	Sensores de proximidad inductivo
Aplicación del dispositivo	ATEX dust ((*))
Nombre de detector	XS6
Diseño del detector	M18 cilíndrico
Tamaño	61 mm
Tipo de cuerpo	Fijo
Capacidad de montaje empotrado	Montaje empotrado
Material	Metal
Material del envolvente	Latón niquelado
Distancia de detección nominal	8 mm
Tipo de señal de salida	Discreta
Técnica de cableado de detector	3 hilos
Función de salida digital	1 NA
Tipo circuito de salida	CC
Tipo de salida digital	PNP
Consecutivo, seguido, continuo, adosado	Cable
Longitud de cable	5 m
[Us] Tensión nominal de alimentación	12...48 V CC con protección de polaridad inversa
Capacidad de conmutación en mA	<= 200 mA con protección de sobrecarga y cortocircuito
Grado de protección IP	IP68 de acuerdo con IEC 60529 IP69K

Complementario

Tipo de rosca	M18 x 1
Superficie de detección	Frontal
Material frontal	PPS
Zona operactiva	0...6.4 mm
Desplazamiento del diferencial	1..0,15% de Sr
Composición del cable	3 x 0,34 mm²

ANEXO 25:

Parte 2: Especificaciones del sensor inductivo XS6 ATEX [48].

Material aislamiento cables	PvR
LED de estado	1 LED amarillo (estado de salida)
Límites de tensión de alimentación	10...58 V CC
Frecuencia de conmutación	<= 1000 Hz
Caída de tensión	<= 2 V, estado cerrado contactos
Consumo de corriente	<= 10 mA, sin carga
Primera temporización	<= 10 ms
Respuesta del relé	<= 0.3 ms
Recuperación de temporización	<= 0.7 ms
Marcado	II2 D-Ex tb IIIC T90°C Db IP68 ((*))
Longitud roscada	51 mm
Altura	18 mm
Longitud	61 mm

Entorno

Normas	Directiva ATEX 94/9/EC EN/IEC 60079-0 EN/IEC 60079-31
Certificaciones de producto	CCC INERIS 04ATEX0022X
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20...60 °C
Resistencia a las vibraciones	25 gn +/- 2 mm 10...55 Hz IEC 60068-2-6
Resistencia a los choques	50 gn para 11 ms de acuerdo con IEC 60068-2-27
Zona de polvo	Zone 21 - 22

Garantía contractual

Warranty period	18 months

PLANOS